

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 105

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE HYDRO-GÉOLOGIQUE
DU HAUT-ATLAS OCCIDENTAL
ET DE LA PLAINE DU HAOUZ

LES EAUX DE MARRAKECH

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 12 Juin 1925

PAR

Henri RAYNAUD

Licencié ès-Sciences Naturelles

Pharmacien-Major de 2^e classe des Troupes d'Occupation du Maroc

né à PERPIGNAN (Pyrénées-Orientales) le 27 novembre 1892



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-56

1925

**Contribution à l'étude hydro-géologique
du Haut-Atlas occidental et de la Plaine du Haouz
Les eaux de Marrakech**

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 105

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE HYDRO-GÉOLOGIQUE
DU HAUT-ATLAS OCCIDENTAL
ET DE LA PLAINE DU HAOUZ

LES EAUX DE MARRAKECH

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 12 Juin 1925

PAR

Henri RAYNAUD

Licencié ès-Sciences Naturelles

Pharmacien-Major de 2^e classe des Troupes d'Occupation du Maroc

né à PERPIGNAN (Pyrénées-Orientales) le 27 novembre 1892



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-56

1925

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. H. HUGOUNENQ
Doyen	M. J. LEPINE.
Assesseur	M. ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, FLORENCE (A.), TEISSIER.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. BARD.
	ROQUE.
Cliniques chirurgicales	TIXIER.
	BERARD.
Clinique obstétricale et Accouchements.....	COMMANDEUR.
Clinique ophtalmologique	ROLLET.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	NICOLAS.
Clinique neurologique et psychiatrique.....	LEPINE (J.).
Clinique des maladies des enfants.....	MOURIQUAND.
Clinique des maladies des femmes.....	VILLARD.
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	LANNOIS.
Clinique des maladies des voies urinaires.....	ROCHET.
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie.....	NOVE-JOSSERAND.
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	CLUZET.
Chimie biologique et médicale.....	HUGOUNENQ.
Chimie organique et Toxicologie.....	MOREL.
Matière médicale et Botanique.....	BRETIN.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	GUIART.
Anatomie	LATARJET.
Histologie	POLICARD.
Physiologie	DOYON.
Pathologie interne	COLLET.
Pathologie et Thérapeutiques générales.....	X.
Anatomie pathologique	PAVIOT.
Chirurgie opératoire.....	PATEL.
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie.....	ARLOING (F.).
Médecine légale	Etienne MARTIN.
Hygiène	COURMONT (P.).
Thérapeutique, Hygiène et Climatologie.....	PIC.
Pharmacologie	X.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	MM. VALLAS.
— — — Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— — — Chimie minérale	BARRAL.
— — — Urologie	GAYET.

CHARGES DE COURS COMPLEMENTAIRES

Orthopédie	MM. LAROYENNE.
Puériculture et hygiène de la première enfance.....	CHATIN.
Stomatologie	TELLIER.

AGREGES

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER.	COTTE.	CORDIER (V.).	MAZEL.
THEVENOT (Léon)	DUROUX.	ROUBIER.	SANTY.
GARIN.	TRILLAT.	FAVRE.	DUNET.
SAVY.	SARVONAT.	BONNET.	CHALIER (André).
FROMENT.	FLORENCE (G.).	RHENTER.	CHALIER (Joseph).
THEVENOT (Lucien).	ROCHAIX.	LEULIER.	NOEL.
PIERY.			CORDIER (Pierre).

M. BAYLE, secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. BARRAL, président ; FLORENCE, assesseur ;

ROCHAIX et LEULIER, agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MON FRÈRE BIEN-AIMÉ,
HIPPOLYTE-JEAN-GABRIEL RAYNAUD,

*Enseigne de vaisseau de 2^e classe
Chevalier de la Légion d'honneur
Croix de guerre, deux citations*

*Glorieusement disparu à bord
du croiseur-cuirassé « Amiral-Charner »
le 8 février 1916
dans sa vingt et unième année*

Je dédie ce modeste travail, faible
témoignage de mon inaltérable sou-
venir.

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE,

A MA MÈRE,

Affectueusement.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR BARRAL,
*Professeur de Chimie minérale à la Faculté
Chevalier de la Légion d'honneur*

A MES JUGES :

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ ROCHAIX,
MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ FLORENCE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LEULIER,

Il nous a inspiré le sujet de cette
thèse.

Nous tenons ici à le remercier et à
lui témoigner notre reconnaissance.

A MES MAÎTRES,

A MES CHEFS,

MEIS ET AMICIS.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Contribution à l'étude hydro-géologique
du Haut-Atlas occidental et de la Plaine du Haouz
Les eaux de Marrakech

INTRODUCTION

Au cours de 1923, la Commission d'Hygiène et de Salubrité de la ville de Marrakech, dont nous faisons partie, pour remédier à la médiocrité et à l'insuffisance des eaux urbaines, décida la mise en œuvre d'un projet de captage, d'adduction et de distribution destiné à fournir à la cité une eau potable et abondante. Appelés à apprécier la qualité de ces nouvelles eaux, nous procédâmes à l'analyse. Leur intéressante composition nous incita à l'étude du bassin supérieur de l'oued Tensift.

Le curieux phénomène d'infiltration des eaux atlasiques à travers la plaine alluvionnaire du Haouz avait déjà attiré l'attention de géologues, d'ingénieurs et d'hygiénistes. Au cours de notre travail, nous serons appelés à tracer l'histoire de cette question. Toutefois, nous tenons à mentionner ici l'œuvre de nos devanciers. Dès 1913, M. le Médecin-Major Gueytat éclaircissait le mystère des retharas de Marrakech dans une description détaillée de ces impor-

tants ouvrages berbères. Devant le problème de l'alimentation hydrique déjà posé, l'auteur songeait au captage des sources atlasiques et citait, en particulier, le réservoir naturel du lac d'Ifni, situé à 3.600 m. d'altitude, sur le versant du Sous

En 1916, parut une remarquable esquisse de M. le Professeur Gentil, relative à l'hydrologie de la plaine de Marrakech, établissant l'existence d'un réseau hydrographique profond, et détruisant l'hypothèse des sources jaillissantes, conclusions d'ailleurs controversées. La recherche d'une nappe artésienne, sous l'instigation de M. J. Savornin, est encore aujourd'hui poursuivie par des sociétés industrielles. Néanmoins, le document scientifique de M. Gentil pose les prémisses du problème hydrogéologique du Haouz. MM. Troussu et Monat, ingénieurs des travaux publics, élaborèrent alors des projets destinés à améliorer les ressources en eau de Marrakech. M. le Médecin aide-major Chambelland a effectué, en 1922, un travail sur les eaux de cette ville, où il impute le taux élevé des chlorures à la pollution par les souillures du sol.

Il nous parut alors nécessaire de préciser, dans un examen général, les relations hydrogéologiques et chimicobiologiques qui, jusque-là, n'avaient pas été mises en évidence. Nous abordons cette thèse par l'étude des phénomènes anciens et actuels qui expliquent l'origine, la répartition et la composition des eaux du Haut-Atlas occidental et du Haouz. Nous sommes ainsi conduits à examiner les modes d'alimentation hydrique de cette région dans le passé, le

présent et l'avenir. Un chapitre est alors consacré à l'analyse des eaux ; l'interprétation du résultat de nos recherches de laboratoire, appuyée sur nos observations antérieures et corroborée par l'exposé épidémiologique, nous amène à établir dans nos conclusions la valeur de cet élément, sans lequel la plaine de Marrakech ne serait que le prolongement du désert Saharien.

De passage à Marrakech, M. le Professeur L. Gentil, de la Sorbonne, nous a fait l'honneur de ses doctes encouragements et de ses éminents conseils. Nous le prions d'agréer ici l'hommage de notre profonde gratitude.

Nous assurons de notre vive reconnaissance MM. les Professeurs Barral, Leulier, Rochaix et Gabriel Florence, qui ont bien voulu s'intéresser à notre étude en nous offrant l'hospitalité intellectuelle des laboratoires de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon, et en acceptant de constituer notre jury.

Nous remercions vivement M. le Médecin-Major Lafon, pour la précieuse communication du résultat de ses examens bactériologiques ; M. Torre, ingénieur municipal, qui a bien voulu nous tenir au courant des travaux hydrauliques de la ville ; M. le Commandant Doniau, de l'aviation militaire, qui a aimablement soumis à notre interprétation le résultat de ses observations météorologiques ; MM. les Officiers du Service des Renseignements de la Région, qui nous ont obligeamment facilité l'accès dans la zone du Haut-Atlas occidental.

CHAPITRE PREMIER

ESQUISSE GÉOPHYSIQUE

I

Géogenèse

De l'une des hautes terrasses de la Medina de Marrakech, nous embrassons du regard, par temps clair, la grande plaine doucement inclinée du Haouz, qui s'étend sur une profondeur d'environ cinquante kilomètres des premiers contreforts du Haut-Atlas occidental au Sud, à la chaîne des Djebilet au Nord. L'imposante masse atlasique, dont le point culminant (Djebel Ifni) atteint 4.173 mètres d'altitude, contraste, par son ampleur majestueuse, avec le délicat profil des montagnettes qui ne dépassent pas 1.052 mètres (Djebel Tekzim).

Rappelons en quelques lignes l'évolution géologique de cette région.

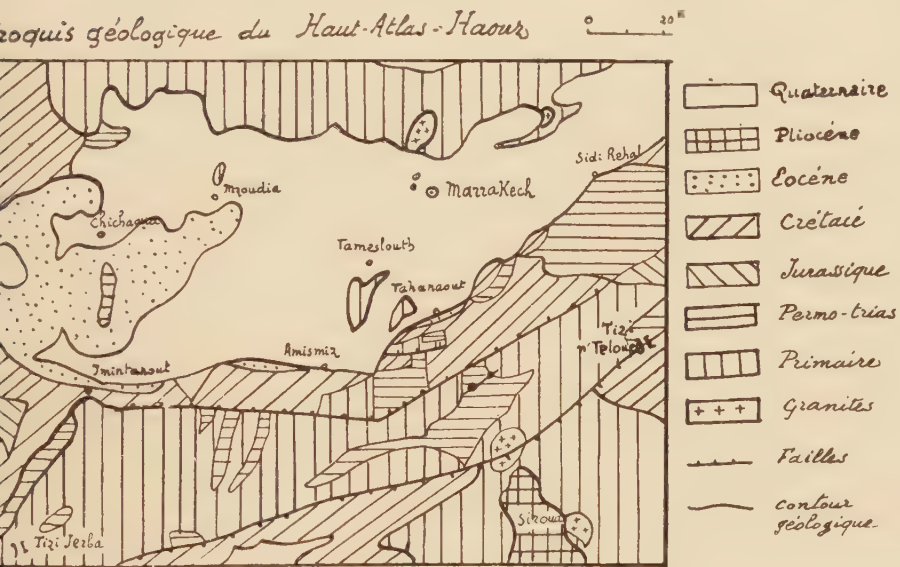
Les Djebilet sont un vestige de l'immense chaîne hercynienne, émergée à la fin de l'époque carbonifère, et dont une portion parcourait le Maroc occidental, du

nord de la Mauritanie vers l'Espagne, en direction SSW-NNE.

Face au grand bouclier saharien chargé des dépôts des mers antérieurs, et dont il était séparé par un géosynclinal occupant l'emplacement actuel de l'Atlas, cet important massif paléozoïque ne tarda pas à subir l'action érosive des agents météoriques. Un démantèlement progressif, joint aux dislocations provoquées par les éruptions volcaniques du permo-trias, la réduisent, au début de l'ère secondaire, à l'état de pénéplaine. Sous un climat tropical extrême, les sédiments accumulés au bord du plateau surbaissé, subissent une profonde décomposition latéritique. Aux formations continentales du Permian, succèdent, par transitions insensibles, les grès rouges et les argiles bigarrées gypsosolines du trias lagunaire, dépôts contemporains des dernières éruptions de porphyres quartzifères et de mélaphyres.

Les périodes jurassique et crétacée, ères de repos tectonique et éruptif, sont marquées, de part et d'autre, de l'anticlinal hercynien, arasé par d'abondants sédiments correspondant à une série de transgressions et de régressions marines consécutives aux mouvements de bascule de l'écorce terrestre. De grands phénomènes orogéniques se préparent. Les surcharges sédimentaires des dépressions atlantique, mésogique et algéro-marocaine accentuent leurs actions iostasiques, suivant l'axe du plateau hercynien consolidé, provoquant un mouvement ascensionnel par failles ou flexures du substratum primaire de la Meseta marocaine.

La bordure saharienne du géosynclinal méridional, latéralement comprimée, se soulève en masse ; la portion inondée subit, par érosion, le décapage de sa couverture jurassique, et, allégée, se dégage par grandes fractures W-E au-dessus des formations voisines, réalisant l'ébauche fondamentale du massif central du Haut-Atlas occidental. Le Haouz de Marrakech,



affaissé, se couvre en mers crétacée et tertiaire de dépôts de grès rouges, de phosphates éocènes, de marnes helvétiques.

Au début du Tortonien, la gigantesque poussée du magma interne s'intensifie du nord au sud, venant buter le môle archéen du Sahara. Le géosynclinal méditerranéen, enserré par le mouvement d'entraînement, s'enhausse, puis s'effondre. Au niveau de la

fosse algéro-marocaine, la masse des sédiments primaires et secondaires est soulevée en un immense faisceau de plis orientés WSW-ENE, se superposant aux rides hercyniennes dirigées SSW-NNE, pour constituer la grande chaîne atlasique de l'Afrique du Nord, contemporaine de la surrection alpine, et prolongée à l'ouest par les hauts fonds des Canaries, de Madère et des Açores, vestiges émergés de l'Atlantide de Platon.

Le faciès orographique est dès lors définitivement fixé. A travers l'époque néogène et la période quaternaire, l'érosion fluvio-glaciaire intensifie son œuvre de nivellement détritique, pour aboutir au modelé géophysique actuel.

Telle nous apparaît, à la suite des remarquables travaux de M. le Professeur Gentil (1 à 5), la synthèse géologique de la région dont nous avons entrepris l'étude hydrologique. Après ces phénomènes anciens, nous allons examiner ceux de l'ère présente, dans lesquels l'eau joue un rôle capital par ses actions mécaniques, physiques, chimiques et biologiques.

II

Météorologie

Par 11 G, 48 de longitude W, 35 G, 15 de latitude N, 15° de déclinaison, à 138 kilomètres de la côte Atlantique, d'une altitude moyenne de 460 mètres, la ville de Marrakech est soumise à un climat de steppe océanique et saharien. Pour interpréter utilement les éléments de ce climat, nous avons dressé les tableaux et graphiques ci-joints, d'après les observations rigoureuses et méthodiques communiquées par M. le Commandant Doniau, chef du poste aérologique de Marrakech (année 1924).

TEMPERATURE. — La moyenne aérothermique annuelle, sous abri, s'élève, à Marrakech, à + 19°, 2. Elle est de + 16°,5 à Mogador, de + 15°, 3 à Tanant, de + 25°, 6 à Tombouctou, de + 19°, 5 à Agadir. Ainsi, la plaine du Haouz marque un notable relèvement isothermique.

Le 2 janvier, le minimum absolu n'a pas dépassé + 0°, 6. Les années précédentes, il a atteint — 2°. Le 11 juillet a marqué le maximum absolu avec + 47°,3.

L'amplitude absolue des variations journalières accuse 27°, 6. Cet écart considérable résulte d'une intense réflexion héliothermique favorisée par la rareté des nuages et par le faible état hygrométrique de l'air, au niveau du Haouz.

Températures (en $\frac{1}{10}$ de degré)

1924	Absolues		Moyennes			Horaires	
	min	max.	min.	max.	to- tales	H	T
Janvier	6	240	39	191	104	1	152
Février	12	252	53	181	109	3	142
Mars	49	297	96	231	155	5	132
Avril	67	396	112	271	184	7	131
Mai	101	417	145	322	229	9	184
Juin	139	415	173	347	250	11	222
Juillet	154	473	196	407	297	13	248
Août	152	429	182	371	269	15	263
Septembre	128	418	166	327	240	17	248
Octobre	257	349	127	281	201	19	219
Novembre	39	321	91	212	146	21	187
Décembre	8	249	49	190	117	23	170
Annuelle	79	355	192				

VENTS ET PRESSIONS. — Le phénomène cosmique de la circulation de l'air, intimement lié à la configuration géophysique, est une conséquence des phénomènes géologiques antérieurs. Il est réglé par le renversement, avec les saisons, de la distribution des centres de pression et de dépression qui s'exercent alternativement à la hauteur du 32° parallèle N, sur l'Atlantique et sur le plateau saharien. Le régime d'été comporte un tourbillonnement de vent froid autour du centre océanique de haute pression des Açores, et un afflux d'air convergent vers le centre continental de dépression. Les courants alizés, légèrement déviés par la rotation terrestre, soufflent du N-E jusqu'à 2.000 mètres d'altitude environ. Durant l'hi-

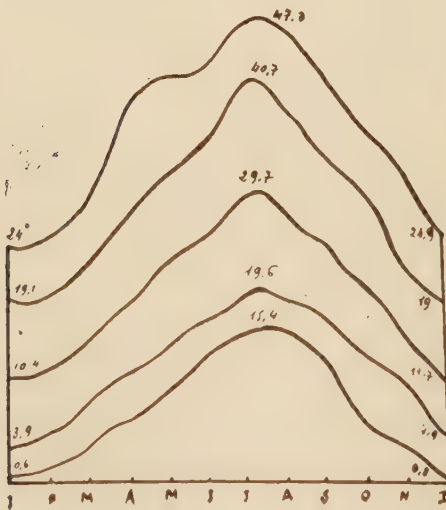
ver, les phénomènes sont inversés; toutefois, le centre de pression océanique ne disparaît pas, mais se transporte vers le Sud à la hauteur de Sainte-Hélène, faisant subir un égal déplacement à la zone des calmes (7). La plaine du Haouz (800 à 400 mètres d'altitude) fonctionne comme aire de haute pression l'hiver, de basse pression l'été. Il en résulte une prédominance des vents du N et du N-E l'été, de l'W et du N-W l'hiver. Des influences de relief viennent altérer le régime normal. Le chergui saharien et le sirocco soudanais, imparfaitement arrêtés par l'Atlas, dévalent quelquefois en tornades et trombes de sable sur la plaine de Marrakech (18 jours en 1924). La vitesse diurne des vents au sol a atteint, cette année, une moyenne de 1,63 mètre-seconde.

1924	Vents dominants		Pressions à 0m		
	direct.	force	moy.	horaire	
Janvier	S-E	2	653	1 h.	626
Février	W	2	620	3	625
Mars	W	2	604	5	625
Avril	W	2	610	7	631
Mai	W	2	603	9	623
Juin	N-W	2	595	11	619
Juillet	N-E	1	593	13	609
Août	N-W	1	594	15	598
Septembre	N-W	1,5	612	17	601
Octobre	N	1,3	620	19	607
Novembre	N-W	1,75	637	21	618
Décembre	N-E	1	678	23	628
Annuelle		1,63	618		

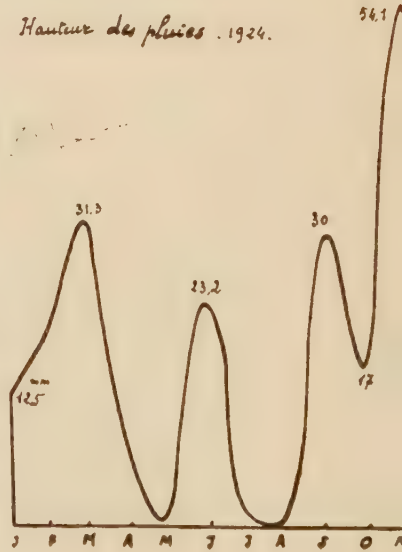
Hygrométrie

1924	Pluies			Humidité		
	fré- quence	hauteur m/m	précip. max. 24 h.	moy.	horaire	
					H	hum.
Janvier	2	12,5	8,7	66	1	74
Février	10	19,5	8,1	69	3	77
Mars	8	31,3	14	65	5	80
Avril	4	10,4	4,2	59	7	79
Mai	1	0,3	0,3	43	9	63
Juin	6	23,2	17,7	51	11	50
Juillet	1	0,7	0,7	36	13	40
Août	1	0	0	49	15	35
Septembre	7	30	17	57	17	36
Octobre	8	17	7,4	62	19	49
Novembre	10	54,1	25,9	74	21	59
Décembre	2	0	0	77	23	66
Annuelle	60	199	104	59		

Courbes anéthermiques. 1924.



Hauteur des pluies. 1924.



PLUIES, HYGROMETRIE. — Au niveau des hauts sommets atlasiques, le contact des courants froids et humides de l'Océan avec les vents chauds et secs du désert occasionne d'importantes condensations de vapeur, souvent accompagnées de précipitations atmosphériques. Ce phénomène est strictement limité à la zone montagneuse. M. A. BERNARD (8) estime à plus de 800 mm. la hauteur annuelle des pluies au-dessus de 1.000 mètres d'altitude, et de 400 à 500 mm. en bordure des contreforts du Haut-Atlas occidental. Pour Marrakech, la hauteur a atteint, de 1915 à 1924, successivement : 273,3 — 280,8 — 367,9 — 194,9 — 405,3 — 314,5 — 308,7 — 352,1 — 352 — 199 mm. Soit une moyenne, pour ces dix dernières années, de 294,8 mm, quantité légèrement inférieure au minimum (300 mm.) assigné par M. BERNARD sur son croquis schématique de la répartition des pluies au Maroc.

Le Haouz est donc caractérisé par un climat sub-désertique comportant une période de sécheresse, l'été, et une saison de pluies, l'hiver, avec deux maxima en mars et en novembre.

Sur le versant septentrional du Haut-Atlas occidental jusqu'à 1.500 m. environ, les précipitations automne-hivernales affectent la forme neigeuse. L'accumulation de ces neiges, durant six mois de l'année, constitue une précieuse réserve hydrique destinée en majeure partie à s'infiltrer progressivement à travers la masse alluvionnaire qui constitue la plaine de Marrakech.

III

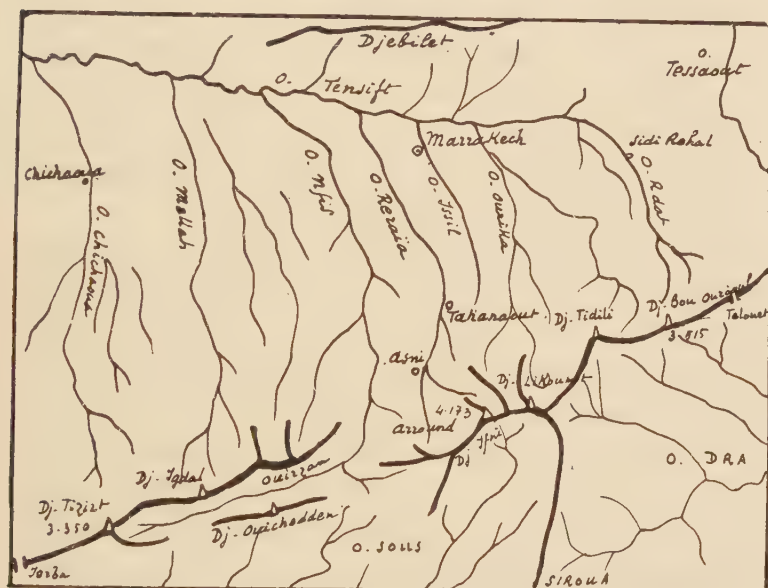
Hydrogéomorphologie

LE SUBSTRATUM PALEOZOIQUE. — Le Haut-Atlas occidental délimité entre les deux abaissements d'axe W et E de Tizi Jerba (1.500 m.) et de Tizi n' Toulouet (2.460 m.) fait vis-à-vis à la plaine de Marrakech. Il est caractérisé par l'absence de couverture jurassique existant sur les portions occidentale et orientale de la chaîne. Le massif central est fait de roches cristalloéruptives et cristallophylliennes que de grandes failles séparent de la bordure des sédiments crétacés. Au pied de la chaîne, le substratum paléozoïque, effondré, disparaît sous les dépôts lagunaires et alluviaux crétacés, tertiaires et quaternaires formant la plaine du Haouz. Quelques affleurements de roches primaires, épars dans cette plaine, démontrent la continuité profonde du noyau central atlasique et de la chaîne des Djebilet. Le Koudiat el Abid, le Djebel Gueliz au nord de Marrakech, le massif des Sektana au sud de Tameslouht, le Djebel Ardouz au nord de Mzoudia sont des émergences du socle hercynien de la Meseta marocaine.

LE BASSIN DU TENSIFT. — La crête du Haut-Atlas occidental réalise la ligne de partage des eaux

des bassins de l'oued Tensift au nord, des oueds Sous et Drâ au sud, à l'exception du cours supérieur du N'fis qui, par suite d'un phénomène de capture, a creusé sa vallée entre la ligne de faite septentrionale des massifs Igdal et Ouirzan et les chaînes des Ida ou Msatt et d'Ouichedden. Les innombrables torrents du versant nord se réunissent au creux des ra-

Croquis hydro-géographique Haut-Atlas. Haouz. 0 20 K



vins en quelques cours d'eau qui, débouchant sur la plaine du Haouz, la traversent suivant la ligne générale de plus grande pente SSE-NNW, pour aboutir au pied des Djebilet, au fleuve collecteur le Tensift. Citons : l'oued R'dat, issu du Dj. bou Ourioul (3.515 mètres); l'Ourika, né au Dj. Likoumt (3.910 m.); l'Issil,

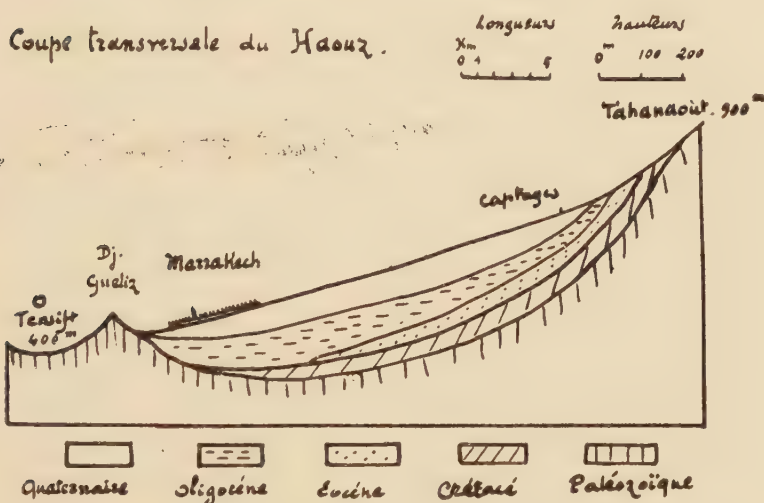
originaires de l'Amenzouacht ; le Reraïa. du cirque d'Arround (Dj. Ifni, 4.173 m.); le N' fis, du Dj. Tizirt (3.350 m.); le Mellah, de l'Igdal ; le Chichaoua, des Aït Mohan Moussa.

Placés dans des conditions orographiques semblables, ces affluents répondent au même schéma d'érosion fluviale. Les eaux sauvages, issues des précipitations atmosphériques et de la fonte des neiges, ruissellent sur les escarpements des hauts sommets à la surface des roches primaires compactes. Elles atteignent, plus bas, les terrains friables du permo-trias et les calcaires fissurés du crétacé. Obéissant aux lois de la pesanteur et de la capillarité, elles s'infiltrent, en partie, dans le sol pour imprégner les couches profondes et atteindre des plans imperméables. A la faveur de l'inclinaison et de déaclases, le trop-plein ruisselle au creux du thalweg sous le cailloutis du torrent superficiel.

Des résurgences peuvent se produire à la faveur de coupures, faisant réapparaître les eaux profondes à la surface, sous forme de sources vaclusiennes généralement pérennes. L'oued de la vallée ne tarde pas à déboucher par une gorge brusquement élargie (foum) sur les terrasses alluvionnaires et la plaine inclinée du Haouz. A l'époque des crues, il roule, en raison de la force vive et de l'abondance des eaux, d'importants amas de galets, de graviers, sables et limons arrachés aux flancs montagneux. Les plus lourds de ces débris se sont déposés en cônes de déjection, depuis les temps néogènes, sur les sédiments antérieurs du Synclinal, pour l'exhausser progressive-

ment. Sur ses propres alluvions, le torrent étale son lit caillouteux, mais uniquement alimenté par les apports de la montagne ; il s'appauvrit à mesure qu'il s'en éloigne. L'évaporation et l'infiltration ne tardent pas à le tarir.

Par contre, les eaux souterraines, soustraites à l'évaporation, cheminent dans le sens des perméabilités et suivant les lignes de grandes pentes du substratum



imperméable. La complexité du réseau aquifère, ainsi formé, s'accroît avec les accidents du relief de la fosse synclinale et la diversité des couches alluvionnaires.

Quelques émergences ont lieu dans la plaine par affleurement de lits imperméables. Citons le Ras el Aïn de Sidi bou Beker, donnant naissance à l'oued Chichaoua ; une importante cheminée ascendante, débouchant dans le lit du Reraïa au nord de Tameslonht ; les émergences de Tazert, etc.

La pente générale vers les Debilet du soubassement primaire et des lits diluviens fait sourdre le trop-plein de la plupart des eaux infiltrées en bordure de la rive gauche de l'oued Tensift, déversoir naturel.

Ce fleuve, au bassin dissymétrique, a été rejeté par les alluvions atlasiques sur le flanc méridional des Djebilet. Né en bordure de ce massif, un peu en amont de l'oued R' dat, et décapité de deux importants tributaires naturels, l'el Abid et la Tessaont qu'une érosion progressive a détourné vers l'oum er Rbia (9), le Tensift divague, au nord de Marrakech, dans un lit élargi par les crues.

LE DILUVIUM DU HAOUZ. — Des sondages à 43, 58 et 113 mètres dans les alluvions du Haouz ont été effectués récemment par les Travaux publics, en vue d'atteindre une nappe artésienne hypothétique. L'insuccès de ces tentatives avait été prédit par M. le Professeur Gentil dès 1916. L'examen de la coupe du sondage de la côte 492 (Aguedal W) nous confirme la véracité de ces prévisions. Nous constatons en effet, en ce point central du Haouz, la succession des couches ci-après :

	Hauteur-mètres	
	partielles	cumulées
Terre végétale	0,50	0,50
Argile et cailloux roulés.....	7,50	8
Argile sableuse.....	0,50	8,50
Argile et galets.....	1,25	9,75
Argile sableuse.....	10	19,75
Argile arinacée (niveau aquifère) ...	8,25	28
Terre argileuse et galets.....	10	38
Calcaire marneux.....	4	42
Sable moyen bariolé.....	3,76	45,76

	Hauteur-mètres	
	partielles	cumulées
Sable et galets.....	3,88	49,64
Calcaire argileux.....	3,46	52,80
Poudingue.....	0,30	53,10
Sable argileux et galets.....	7,55	60,65
Calcaire argileux.....	7,35	68
Poudingue.....	7	75
Argile sableuse.....	0,50	75,50
Sable et galets divers.....	10,95	86,45
Calcaire intercalé d'argile.....	1,29	87,74
Poudingue.....	3,11	90,95
Calcaire intercalé d'argile.....	3,15	94
Poudingue argileux.....	0,80	94,80
Calcaire argileux.....	7,99	102,79
Poudingue argileux.....	7,21	110
Calcaire argileux.....	3,59	113,59

Les matériaux diluviens se présentent en lits superposés, alternativement perméables (galets, graviers, sables) et imperméables (argiles, poudingues, marnes). Ce facies correspond à des épisodes d'activité ou de repos du phénomène torrentiel réalisé dès la fin du tertiaire. Abondamment caillouteuses, les alluvions supérieures témoignent d'une édification très rapide par de fortes crues consécutives de la surrection totale de l'Atlas, qui a fourni la totalité des éléments pétrographiques. Les horizons successifs sont séparés par des surfaces d'érosion, au niveau desquelles un réseau aquifère souterrain filtre à la faveur des anciens lits divaguants que séparent les couches imperméables. Malgré la pression hydrostatique des niveaux d'amont, l'eau de ces nappes ne parvient pas à la surface du manteau alluvionnaire qui annihile par sa densité et sa porosité la force ascensionnelle du liquide.

Au voisinage des émergences du sôcle paléozoïque, les dépôts alluvionnaires se montrent imprégnés des matériaux provenant de la désagrégation de la chaîne hercynienne. Tandis que le revêtement limoneux du Haouz résulte du lavage des grès et des marnes argileux du Haut-Atlas, les terres bordant les Djebilet, du Gueliz au Tensif, par exemple, présentent la carapace silico-calcaire, concrétion née à la suite de phénomènes capillaires au niveau du sol, formation caractéristique de la Meseta marocaine.

IV

Minéralisation des eaux atlasiques

L'esquisse des phénomènes géologiques nous conduit à examiner le mécanisme de la minéralisation des eaux météoriques au contact des roches perméables ou compactes, mais toujours plus ou moins susceptibles de corrosion, qui constituent la chaîne du Haut-Atlas et la plaine de Marrakech.

ACTIONS CHIMIQUES. — Par l'oxygène et l'anhydride carbonique de l'air dissous, l'eau pluviale possède un pouvoir agressif notable sur les felds-paths, pyroxènes et amphiboles des roches cristallo-éruptives et des tufs volcaniques qui constituent l'ossature du Haut-Atlas occidental. Elle attaque les silicates alcalins et alcalino-terreux, pour former des bicarbonates solubles, avec abandon et dissolution partielle de silice. Le phénomène simultané de latéritisation, caractéristique des régions à climat sub-désertique, libère les molécules alumineux et ferrugineux dont les formes hydratées colloïdales (alumogels, stilpnosidélite) sont en partie entraînées par lixiviation des eaux météoriques, en parties fixées sur la roche résiduelle, à l'état de dépôt rubéfié. Cette décomposition remarquable s'exerce surtout au contact des schistes paléozoïques, et des amas d'argile limoneuse accumu-

lés sur les flancs atlantiques de la haute chaîne de l'Atlas.

L'action de l'acide carbonique s'intensifie au contact des roches calcaires et dolomitiques des contreforts crétacés de l'Atlas et des émergences de la plaine hercynienne (rochers du Gueliz). Elle se traduit par un gain en bicarbonates de chaux et de magnésie, dont les ions accusent une forte alcalinité. Sur les cassures planes des calcaires, les oxydes de fer et de manganèse se sont souvent déposés en dendrites élégamment ramifiés (bancs de Tleta de Tafanaout).

ACTIONS PHYSIQUES. — En remontant la pittoresque vallée de l'oued Reraïa, nous avons observé au pied du douar d'Agadir el Mel, entre Tahanaout et Asni (vallée de Moulay Brahim), d'importants enduits de sel sur le cailloutis asséché des ravineaux de droite. Au pied de puissants amas d'argiles gréseuses rouges et vertes, les indigènes ont foré, à 300 mètres du lit de l'oued, des puits de 3 mètres de profondeur, pour exploiter une nappe dont les eaux évaporées à la surface de bassins déposent rapidement des cristaux de sel blanc.

L'analyse de la saumure prélevée au gîte souterrain, le 7 août 1924, a donné par litre :

Densité à 15°	1.183
Résidu à 100°	310,20
Chlore	184,60
Anhydride sulfurique	2,69
Chaux	1,72
Magnésic	0,12

Soit : Chlorure de sodium	304,20
Sulfate de calcium	4,16
Sulfate de magnésium	0,36

Nous avons effectué les dosages suivant les méthodes exposées au chapitre de l'analyse des eaux. Cette composition révèle l'existence de gisements gypso-salins intercalés dans les grès marneux et les argiles bariolées des dépôts permo-triasiques que supporte le substratum schisteux primaire, et que lixivie à saturation les eaux infiltrées. Des mines de sel gemme jalonnent les flancs atlasiques, généralement associées aux volcans pré-secondaires. Ainsi, il n'est point d'affluent de l'oued Tenrifi dont le chlore en particulier n'ait son origine dans ces formations.

ACTIONS MECANIKES. — L'eau terrestre de ruissellement est souvent chargée de débris minéraux insolubles entraînés mécaniquement par l'érosion torrentielle. C'est ainsi que les particules arénacées, calcaires et limoneuses abondent aux périodes de crues dans les eaux superficielles.

La plaine de Marrakech est entourée d'importants dépôts de phosphates de chaux des époques crétacé-éocènes qui émergent, à l'ouest, avec les plateaux tabulaires de Chichaoua, et, au sud, en bordure des contreforts atlasiques depuis Imintanout, Sidi Rehal, Aït Bourd, jusqu'au delà de Tahanaout, chez les Mesfona. Ces dépôts, identiques et d'ailleurs en relation avec ceux de la Bahira et d'el Borouj-Oued-Zem, répondent à une période géologique marquée dans les

couches sédimentaires du Haouz, dont ils recoupent angulairement les alluvions tertiaires et quaternaires. Cette intercalation favorise le contact des roches calcaro-phosphatées, avec les eaux d'infiltration qui entraînent mécaniquement des parcelles très divisées de la masse de ces dépôts. (V. Croquis géologique, p. 15.

V

Aperçu phytozoologique

FLORE TERRESTRE. — La géographie botanique du bassin supérieur du Tensift se montre étroitement subordonnée à l'altitude, à la nature des terrains, au régime des pluies et à la répartition du réseau hydrographique.

La plaine du Haouz présente quelques espèces aborigènes xérophiles, nettement apparentées à la flore soudanaise et dont les vestiges réalisent une steppe herbeuse : *Zizyphus Lotus*, *Acacia gummifera*, *Whitania frutescens*, *Stipa tortilis*, *Eryngium ilicifolium*, *Atriplex Halimus*, *Peganum Harmala*, *Lycium intricatum*, *Citrullus colocynthis*, *Calendula aegyptica*.

Les contreforts atlasiques dotés d'abondantes précipitations atmosphériques offrent une flore arbutive où se montrent de nombreuses espèces méditerranéennes :

Olea europaea, *Pistacia Lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Retama Webii*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phœnica*, *Callitris quadrivalvis*, *Quercus Ilex*, *Ceratonia siliqua*, *Cytisus albus*, *Smilax aspera*, *Cistus salisfolius*, *Lavendula multifida*, *Rhus pentaphylla*, *Bryonia dioïca*, *Asparagus alba*, *Clematis cirrhosa*, *Rhamnus Lycoïdes*.

Les hautes vallées du versant septentrional montrent quelques esences endémiques très anciennes, en forêts clairsemées :

Quercus Ilex, *Thuya articulata*.

Le col de Tizi N'ouichedden constitue la limite orientale de l'arbre du Sous : *Argania sideroxylon*. La flore herbeuse subalpine des sommets atlasiques a été étudiée par M. le Professeur MAIRE, et compte notamment :

Bupleurum spinosum, *Ormenis scariosa*, *Minuartia rostrata*, *Satureia Hochentheri*, *Lamarkia aurea*, *Carduus Ballii*, *Scorzonera pygmæa*, *Astragalus*, *Ibrahimi-miamus*, *Alyssum spinosum*, *Malva subacoulis*, *Artemisia campestris*, *Cirsium Dyris*, etc...

Une importante végétation adventice s'est adjointe à la flore primitive, par l'intermédiaire des cultures et n'a guère dépassé la limite des terres labourées et irriguées.

Phoenix dactylifera, *Opuntia vulgaris*, *Ficus Carica*, *Morus alba*, *Citrus aurantium*, *Citrus bigaradia*, *Citrus limonum*, *Punica granatum*, *Juglans regia*, *Fraxinus oxyphylla*, *Eucalyptus globulus*, *Cupressus sempervirens*, *Cercis siliquastrum*, *Ricinus communis*, *Vitis vinifera*, *Amygdalus communis*, etc...

Les cultures de céréales avoisinant la ville et les douars de la plaine comptent [5] :

Le blé : 60.000 hectares environ.

L'orge : 145.000 hectares environ.

Le lin : 1.000 hectares environ.

Le cumin : 3.000 hectares environ.

Viennent ensuite : le *maïs*, le *chanvre*, le *henné*, des légumineuses (*fève*, *lentille*, *trèfle*, *luzerne*), des cultures maraîchères (*oignon*, *patate*, *tomate*, *aubergine*, *concombre*, *pastèque*, *piment*...).

Des plantes médicinales à parfum sont cultivées dans la banlieue :

Rosa damascena, *Mentha viridis*, *Lippia citriodora*, *Myrtus communis*, *Salvia officinalis*, *Chenopodium ambrosioides*.

FLORE AQUATIQUE. — Rare dans le lit caillouteux des oueds torrentiels, la végétation d'eau douce, peu caractéristique, est abondante au niveau des bassins, des mares et des *seguias*, points d'aboutissement de la plupart des retharas. Nous avons remarqué, à côté des algues immergées (genres *Chara*, *Spirogyra*, *Oscillaria*) : *Lemna minor*, *Ranunculus aquatilis*, *Juncus acutus*, *Rumex pulcher*, *Nasturtium officinale*, *Potentilla reptans*, *Adiantum capillus veneris*, *Asclepias sinectinicum*, *Arundo donax*, *Nyctaginia mirabilis*, *Nerium oleander*, etc...

FAUNE AQUATIQUE. — Les principales espèces zoologiques d'eau terrestre se montrent cantonnées dans le cours des oueds, des ruisseaux de dérivation, des marais et des bassins aux eaux semi-stagnantes, points d'aboutissement des drainages artificiels qui entourent Marrakech.

Citons, comme vertébrés, plusieurs espèces de *barbeaux*, une tortue *Clemmys leprosa*, *rana esculenta*. Les mollusques comptent (10) : *Limnaea peregra*, *L.*

truncatula, *Bullinus contortus*, *Physa acuta*, *Planorbis Philippei* di Monserato, *Melanopsis chloratica*, *M. marocana*, *M. buccinoides*, *M. pseudoferussaie*, *Amnicola Dupotetiana*, *Melania tuberculata*, *Pisidium rotundatum*, *Unio Bacheti*, *M. Durieni*.

Comme insectes : *Dytiscus*, *Notonecta*, *Culex pipiens*, *Anopheles maculipennis*, *Stegomyia fasciata*, *Agrions*. Quelques myriapodes : (*Orya barbarica*), arachnides (*Prionurus Lionvillei*) et isopodes vivent à proximité des points d'eau.

Daphnea, *Gammarus*, *Atyaephyra Desmaresti*, un crabe *Telphusa* représentent les crustacés. Plusieurs vers (*Hirudinés*, *Rotifères*, *Bryozoaires nemathelminthes*, *Plathelminthes*) et de nombreux *Protozoaires* dont l'étude est à peine effleurée, viennent accroître la richesse de la faune aquatique du Haouz.



Marrakech-Nord et profil des Djebilet
15 mars 1925



Un bassin de l'Aguedal, à Bullinus-Contortus
6 novembre 1924



Vallée du Reraïa à Agadir el Mel
7 août 1924



Salines d'Agadir el Mel
7 août 1924



Calcaires herujniens du Gueliz
8 mars 1925



Oued Tensift au Nord de Marrakech
8 mars 1925

CHAPITRE II

HYDRAULIQUE INDIGÈNE

I

Historique

L'origine des ouvrages hydrauliques indigènes de la plaine du Haouz, et en particulier de Marrakech, paraît remonter aux premiers temps de la conquête musulmane de l'Afrique Mineure occidentale.

Le célèbre chroniqueur arabe IBN KHALDOUN (11), dans son *Histoire des Berbères*, a tracé un tableau du numide sédentaire cantonné, au XI^e siècle de notre ère, sur les pentes de l'Atlas méridional.

« Dans ces montagnes, écrit-il, jaillissent de nombreuses sources ; des arbrisseaux couvrent le sol d'un voile épais ; de nombreuses forêts répandent leur ombre sur les vallons ; des terrains étendus y offrent de grandes ressources à l'agriculture et à la multiplication des troupeaux. De vastes pâturages y nourrissent une foule d'animaux domestiques ou de bêtes sauvages... Ces lieux sont habités par des

peuplades masmoudiennes dont Dieu seul connaît le nombre. Elles y ont élevé des forteresses et des châteaux, de grands édifices et des citadelles. Elles préférèrent leur pays à toutes les contrées du monde... Leurs mœurs agrestes et leurs habitudes rustiques les tenaient plongées dans une ignorance profonde et les empêchaient de connaître les vrais principes de la religion. »

Ces Masmondiens paraissent être la souche-mère d'une grande Confédération étendue sur le Maroc en nombreuses tribus (Hargha, Hintata, Tinmelel, Guenpiça, Dokkala, Haha, Berghonata, Ghomara, etc...), apparentées aux Ksouriens de Figuig et aux Egyptiens de Lybie.

La conquête islamique devait bientôt arracher ces Berbères à leur isolement séculaire. Tandis que les princes de la dynastie Fatimide, régnant au ^x^e siècle sur l'Afrique du Nord, entretenaient une molle dévotion dans les délices du Caire et faisaient pâlir la foi du prophète, un chef de la branche sanhadjenne au litham, l'almoravide Youssef ben Tachfin, nomade et pirate du désert, franchit l'Atlas et vint camper dans la plaine du Tensift.

D'après le ROUDH EL KHARTAS (12), il établit sa tente sur le terrain du Maroc (Marrakech) et fit bâtir une mosquée et une petite casbah (1061).

« L'emplacement du Maroc étant sans eau, on y creusa des puits et l'on s'en procura à peu de profondeur. Les habitants s'établirent ainsi, sans mur d'enceinte. On en construisit pendant huit mois, sous le règne d'Ali, fils de Youssef... »

Plus soucieux d'expéditions lointaines que d'organisations intérieures, les Almoravides furent bientôt renversés. Les Masmondiens unitaires de Tinmal, puissamment coranisés par le Mahdi Ibn Toumert et par son successeur Abd el Moumen, se ressaisirent, et, après une célèbre guerre de sept ans, reconquirent l'empire moghrebin. Après un siège de plusieurs mois, Marrakech tomba au pouvoir des Almohades (1147). Les premiers sultans de cette dynastie se montrèrent d'habiles administrateurs, et le Maroc, du Niger à la Tripolitaine et jusqu'à l'Ebre, connut sa plus grande magnificence. Le belliqueux Abd el Moumen et le sage Abou Yacoub construisirent un peu partout des ponts, des aqueducs, des puits, des jardins (Aguedal de Marrakech, 1148). L'émir Yousef el Mansour fit resplendir le génie berbère à travers l'empire marocain dans des œuvres incarnant le désir grandiose de l'impérissable. A côté des habitations de pisé, grossièrement enduites de chaux, surgirent les prodigieux minarets en pierre de taille qui sont la tour Hassan à Rabat, la Giralda à Séville, la Koutoubia et Djema el Mansour à Marrakech (1195). En même temps, plusieurs milliers de chrétiens, capturés à la bataille d'Alarcos, furent employés à la construction des premières retharas (1189). Un splendide hôpital fut construit au milieu de la ville (13).

« Yousef commença par choisir un vaste emplacement dans la partie la plus basse de Marrakech. Il y fit planter toutes sortes d'arbres d'agrément et d'arbres fruitiers. L'eau y fut amenée en abondance et autour de toutes les chambres, sans préjudice de qua-

tre bassins situés au centre de l'établissement, et dont le principal était pavé de marbre...»

Les Mérinides succédèrent aux Almohades en 1269. Ils firent construire, du ^{xiv}^e au ^{xvi}^e siècle, la Medersa de ben Yousef, la Zaouïa de Sidi-bel-Abbès, ainsi que les retharas alimentant ces importants sanctuaires.

Marrakech vécut encore un siècle de grandeur sous les Saadiens. Le célèbre Moulay Ahmed el Mansour, enrichi par sa conquête de Tombouctou, édifia le fameux palais d'El Bedi (1570), dont il ne reste plus aujourd'hui que trois grands bassins en ruine, d'immenses murailles et la Kouba, miraculeusement conservée, des tombeaux impériaux.

Les mosquées de Bab Doukkala, d'El Monassin datent de cette époque florissante.

Les Alouïtes règnent depuis 1660. Sidi Mohamed fit bâtir El Beïda (1779), restauré en 1880 par Moulay Hassan, et actuellement Hôpital militaire. Moulay Abderraman agrandit, en 1834, les jardins de l'Aguedal, qu'il dota de deux importantes seguias captées au pied de l'Atlas, Bachia et Tasseltant. Il fit bâtir le Dar el Maghzen. En 1895, le vizir Ba Ahmed fit construire la Bahia, affectée aujourd'hui à la Résidence Générale.

De ce bref historique, il ressort que les modes d'alimentation hydrique utilisés par les habitants de Marrakech peuvent se ramener à trois types encore en usage : les seguias, les puits, les retharas.

Avant toute recherche hydrogéologique, une description de ces ouvrages a été faite, dès 1914, par

M. GUEYAT (14). Ce travail offre un réel intérêt documentaire et nous dispensera de nous étendre sur ce point du sujet.

Une remarquable étude hydrologique du Haouz a été abordée en 1916 par M. le Professeur GENTIL (15) et demeure à la base de tout examen scientifique. Mentionnons ensuite les rapports d'ingénieurs (15-17), les observations de M. SAVORNIN (18) et une étude de M. CHAMBELLAND (19).

Dans ce chapitre, nous nous bornerons à préciser la définition des ouvrages hydrauliques indigènes, en indiquant leurs avantages et leurs défauts. Nous résumerons ensuite les grandes lignes du réseau urbain actuel.

II

Les eaux superficielles

LES SEGUIAS DE DERIVATION. — La pénurie des eaux des oueds sillonnant la plaine a obligé les indigènes à capter le cours supérieur de ces torrents avant leur absorption totale, le plus souvent au sortir des gorges de la zone montagneuse. La couche superficielle du diluvium du Haouz, argileuse sur une épaisseur d'environ 2 mètres, se prête bien au creusement des lits artificiels étanches par où les eaux endiguées s'écouleront suivant une ligne de grande pente. L'oued Reraïa, capté en amont de Tahanaout, donne naissance à la Bachia, dont les eaux atteignent, après un trajet très sinueux, les jardins de l'Aguedal. La Seguia Tasseltant prélève ses eaux à l'oued Ourika et ses branches viennent arroser les cultures aux S-E et S-W de Marrakech. L'aïn Targa dérive les eaux de l'oued N' fis et atteint les terres de la Menara et du Djenan el Hartsî.

Chaque oued est ainsi artificiellement exploité dès son entrée en plaine par un réseau de séguïas divergentes destinées à l'irrigation des cultures. Les eaux en sont limoneuses aux périodes de pluie et soumises à de grandes variations de débit.

III

Les eaux profondes

LES PUITES. — Etant donné que les niveaux aquifères supérieurs du sous-sol du Haouz se montrent à des profondeurs variant de 10 à 30 mètres, les puits ont été utilisés dès l'origine. Ce mode d'approvisionnement offre les inconvénients de nécessiter une force ascensionnelle qui en limite le débit, et de subir de grandes variations quantitatives avec les saisons. Rien ne peut assurer la richesse d'une nappe exploitée dans un terrain où le réseau hydrographique est inégalement réparti en plan et en profondeur. De plus, la pollution inévitable par l'indigène constitue un inconvénient sérieux à la potabilité de pareils captages (22).

LES RETHARAS. — Bien autrement importants sont ces ouvrages si curieux qui, sur plusieurs kilomètres, sillonnent les abords de la ville dans le sens longitudinal. De pareilles constructions se rencontrent dans le Sud-Oranais, à Figuig, où on les nomme foggaras, et dans l'Anti-Atlas (oasis du Tatta et de Tissint). Les rethatrias du Drâ en sont les puisatiers traditionnels.

Une rethara est constituée par un chapelet de puits disposés sur un plan incliné, espacés les uns des autres de 5 à 15 mètres et reliés à leur niveau infé-

rieur par une galerie souterraine. Les puits de tête sont creusés en amont, assez profondément pour atteindre la nappe phréatique. Quelquefois, disposés en V, ils réalisent la zone captante du système. Les eaux collectées par drainage quittent, en raison de l'inclinaison des terrains, le plan aquifère et cheminent dans la galerie adductrice colmatée d'argile. Les puits n'ont plus alors que l'office de regards ayant servi à construire la galerie et utilisés pour son entretien. La pente imposée au canal est inférieure à celle de la surface du sol ; après un trajet de quelques kilomètres, le ruisseau souterrain affleure au jour et s'écoule librement sous forme de séguia. Le principe de ce système hydraulique est excellent. Annihilant le secours de toute machine élévatoire, la rethara se prête aisément à la résolution des problèmes hydros-tatiques. Peu sensible aux variations météorologiques, son débit est fonction de la longueur de la portion captante. Soustraites aux agents atmosphériques, les eaux filtrées mécaniquement à travers les sables alluviaux s'écoulent invariablement limpides. La galerie adductrice annihile l'évaporation et les détournements délictueux ; elle garantit les eaux contre les souillures extérieures.

Mais la plupart des retharas de Marrakech ont déjà vécu de longues années. Construites avec des moyens rudimentaires et trop souvent négligées dans leur entretien, elles subissent des dégradations considérables. Les orifices des puits, rongés par l'érosion des eaux de ruissellement, s'élargissent en entonnoir ; des éboulements se produisent, comblant les galeries

et effondrant les ponts dont la voûte est de faible épaisseur. Combien de retharas sont mortes ainsi de vieillesse ou d'abandon ! Combien d'autres ont été polluées par l'introduction dans les regards de déchets organiques !

IV

Le réseau urbain

LES EAUX DE LA MEDINA. — Six retharas alimentent la ville indigène de Marrakech. Trois sont la propriété des Habons, les trois autres appartiennent au Maghzen. Chacune d'elles comporte une portion captante et adductrice extra-urbaine, conforme à la description générale ci-avant (rethara suivie de séguia), puis un réseau de distribution comprenant des canalisations (kaddous) commandées par des répartiteurs de débit (madas). Ces derniers assurent en même temps, par application du principe des vases communicants, la force ascensionnelle nécessaire.

Les sources habons ont été primitivement destinées aux mosquées et aux sanctuaires.

L'aïn Monassin se forme 800 mètres au sud de l'Aguedal (côte de terrain, 515 mètres ; côte piézométrique, 488), qu'elle traverse dans sa portion ouest-Segua à travers le cimetière des esclaves ; elle est canalisée à Bab Rlih, pénètre et se répartit dans la Médina à Bab Robb. Débit moyen : 33,5 litres-secondes. Elle alimente la mosquée d'El Mansour, le sanctuaire de Sidi Mimoun puis ses branches se dirigent :

1° Au Dar Caïd el Glaoui et aux mosquées de Bab Doukkala, Sidi ben Sliman, Sidi-bel-Abbès, avec di-

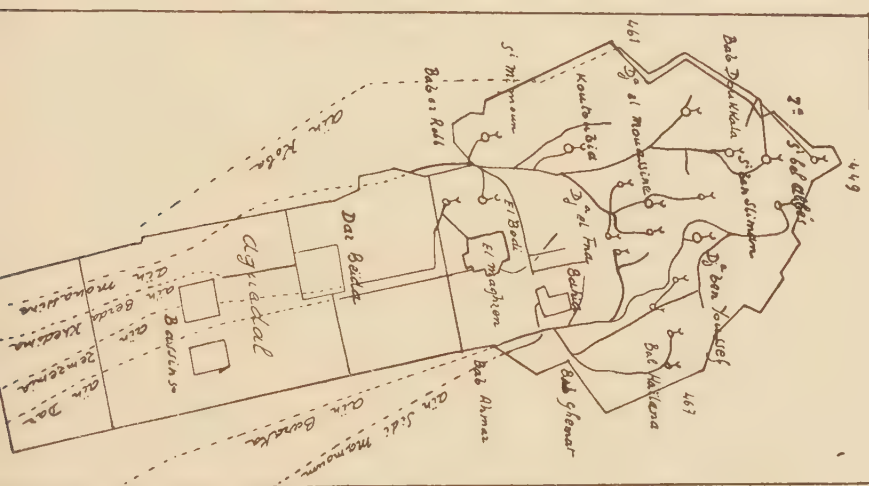
verticules vers Djebel Laghdar, Kontoubia, et Dar Moulay Ali (Quartier Général) ;

2° Vers Djema El Monassin, Si Ab el Aziz, Sidi
Moula el Ksour et la Kissaria par Djema el Sna.

3° Aux Riads Zitoun Khedim et Djedid, par l'Arsas el Maach.

L'aïn Baraka naît 1.200 mètres au sud de l'Aguedal dont elle longe le mur est. Elle coule en seguida jus-

Marrakech - Medina. Réseau hydraulique indigène



qu'à Bab Hamar, puis entre en canalisation. Elle débite 15,5 litres-secondes et dessert la Médersa et la mosquée ben Youssef, Dar si Saïd (Etats-Major), les quartiers de Bab Rhemat, Sidi Youb, Bab Haïlain, Bab el Khemis.

L'aïn Koba, captée en bordure de l'enceinte W de l'Aguedal, atteint et longe la muraille de la Medina depuis la Mamonnia jusqu'à Bab Doukkala, où

elle se divise en trois branches aboutissant à la Zaouïa de Sidi-bel-Abbès et aux jardins environnants. Elle débite 15 litres-secondes.

L'aïn Zemzemia et l'aïn Dar alimentent le palais du sultan. Elles débitent respectivement 15 et 30 litres-secondes. Nées au sud de l'Aguedal qu'elles traversent longitudinalement, elles pénètrent directement dans le palais ; le trop-plein qui s'en échappe dessert quelques fontaines de la Kasbah, du Mellah ou de Berima.

La Bahia reçoit les eaux de l'aïn Sidi Mamoun (25 litres-secondes), captée au sud-est de l'Aguedal.

A ces sources, nous ajouterons l'aïn berda Khedima, qui alimente Dar Beïda (Hôpital militaire).

Par convention du 7 septembre 1916, l'administration des Habons a loué ses trois sources à la municipalité, chargée d'en assurer l'entretien et de fournir gratuitement les quantités d'eau nécessaires aux établissements publics suivants :

82 mosquées et sanctuaires (10 à 20 mètres cubes par unité et par jour) ;

554 salles d'ablutions et w.-c. (1 mètre cube par unité et par jour) ;

24 bains maures (40 mètres cubes par unité et par jour).

98 fontaines publiques exigent 15 litres par musulman ou 30 litres par israélite. 4 fondonks, 4 lavoirs et 3 prisons reçoivent 10 mètres cubes chacun. Enfin, une dizaine de jardins et 70 immeubles particuliers sont alimentés à divers débits.

Le total se traduit par un besoin absolu de 75 litres 1 par seconde. Abstraction faite des quantités livrées aux jardins publics, les besoins réels s'élèvent pour la population à 60 litres 6 par seconde. Ces quantités, suffisantes pour une base de 100.000 habitants (soit 58 litres-seconde à raison de 50 litres par unité et par jour), ne le sont plus à l'égard des 140.000 habitants recensés en 1921.

Les sources que nous venons de décrire n'échappent pas dans leur parcours, sous forme de rethara et de segua, aux dégradations par les agents extérieurs, ainsi qu'à diverses contaminations. Les Kaddons, faits de terre mal cuite, et imparfaitement joints par de la filasse et de l'huile, offrent une étanchéité médiocre ; ils crèvent facilement et pourrissent. Les indigènes perforent souvent les canaux pour effectuer des prélèvements illicites. Le mode de distribution actuel permet à certains usagers de dépasser leurs droits sans contrôle possible, le jeu des échancrures des Madas étant arbitrairement réglé par les Quadsis.

La municipalité actuelle s'efforce de remédier à ces défauts par la protection et l'entretien des regards des retharas, le curage des galeries, la cimentation des seguias, la substitution aux Kaddons des tuyaux étanches. Les Madas devraient être remplacés par des répartiteurs avec robinets de jauge, assurant une répartition automatique inviolable.

LES EAUX DU GUELIZ. — La ville européenne et le camp militaire, de création récente, s'élèvent dans la palmeraie qui sépare la Medina du Djebel Gueliz.

Les ouvrages hydrauliques indigènes comprennent des puits et quelques retharas originaires du S-W de l'Aguedal ou de la Menara, et destinées à l'irrigation des jardins. Signalons qu'une branche de l'aïn el Hartsi alimente une fontaine publique en bordure du Djenan el Hartsi.

Un pareil réseau (voir le croquis annexé) ne répond pas aux besoins d'une jeune cité en voie d'édification.

La Medina, le Gueliz et le Camp militaire sont trois agglomérations importantes pour lesquelles se pose la question de l'eau potable, que nous allons examiner.

CHAPITRE III

HYDRAULIQUE MODERNE

I

Le choix d'une eaux potable

Résoudre le problème de l'alimentation hydrique de Marrakech consiste à trouver des eaux pures et abondantes.

Sont à rejeter pour cet usage les eaux météoriques et superficielles, d'ailleurs utilisées pour l'irrigation. Le lac d'Ifni lui-même, situé sur un volcan permotriasique, ne paraît pas offrir les garanties nécessaires.

L'examen hydrogéologique antérieur désigne comme points utiles à capter, les résurgences profondes de la plaine du Haouz. Les expériences sur la propagation du B. coli dans l'eau souterraine, effectuées par l'UNITED STATES PUBLIC HEALTH SERVICE (20) et celles de l'INSTITUT ROCKEFELLER, de New-York (21), sur la du-

rée de contamination dans le sol des B. typhiques et dysentériques, confirment la pollution fatale des points exploités dans la zone immédiate de Marrakech, où les infiltrations sont aussi nombreuses que variées : stagnation des mares où aboutit le trop-plein des seguias ; jet d'immondices dans les gouffres de retharas abandonnés ; voisinage des latrines et des bains maures avec les puits et les fontaines des mosquées, etc. Les souillures se propagent dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines, le réseau hydrographique capté suffisamment en amont sera exempt de toute atteinte urbaine. Entre l'Atlas et la Medina, la plaine, régulièrement déclive, revêtue d'argile protectrice, dotée d'un climat et d'une flore sub-désertique, comptant de rares habitations, paraît offrir d'utiles points d'alimentation hydrique. Les Rethatrias du ^{xr} siècle ont empiriquement réalisé ce programme par l'exploitation de la nappe phréatique au S. de l'Aguedal. Les hydrauliciens du ^{xx} siècle marchent sur la trace de ces illustres devanciers, en effectuant leurs recherches au point que nous allons décrire.

II

Les captages municipaux

Les travaux de recherche d'une eau alimentaire pour la ville de Marrakech ont été effectués, dès 1923, dans le réseau hydrographique souterrain du Haouz. L'entreprise définitive a été fixée sur le territoire d'Aghouatim, à 18 kilomètres de la ville, Sud, dans le thalweg de l'oued Reraïa. La vallée alluvionnaire offre en ce point un niveau aquifère à 8 mètres de profondeur. Le problème consiste à capter les eaux de sous-écoulement par coupure de la base alluvionnaire du cône de déjection.

Le forage de vingt puits permet de fixer les courbes de niveau piézométrique du périmètre d'alimentation. Une tranchée captante, ouverte à 126° en travers des couches diluviennes, fut amorcée sur une tranchée évacuatrice dirigée vers Marrakech. A la côte centrale 752, les terrains déblayés offrent la stratification suivante :

1° Un manteau superficiel de terre argileuse compacte, épaisse de 2 m. 50 ;

2° Une couche de 6 mètres de profondeur, faite de gros cailloux roulés, de galets, de sable et d'argile, témoignage d'une rapide sédimentation par les crues du quaternaire récent ;

3° Un diluvium massif composé de cailloux roulés inclus dans une marne très argileuse, peu perméable, dont l'épaisseur n'a pu encore être évaluée, en raison de l'inachèvement des travaux. Cette couche est vraisemblablement afférente au quaternaire ancien. Elle supporte un réseau aquifère dont le ruissellement très irrégulier s'effectue suivant l'axe de grande pente. Les eaux en sont limpides, et nos observations d'août 1924 à mars 1925 établissent leur équilibre géothermique ($19^{\circ},8$ à $19^{\circ},3$).

Cette couche, aux éléments imbibés, met à jour, à 12 m. 40 du sol, une abondante nappe d'eau collectée par filtration intersticielle à travers les veines sableuses de la masse.

L'état actuel des travaux en cours ne permet pas d'évaluer le débit définitif de ces captages, mais il laisse espérer qu'il atteindra facilement les 140 litres-secondes exigés.

La question s'est posée de préciser les relations plus ou moins directes des eaux superficielles du Reraïa et des eaux souterraines des captages. Effectivement, le lit de cet oued torrentiel est déblayé de la couche d'argile protectrice qui revêt la plaine du Haouz. L'examen de ce lit montre que, toutefois, le sol caillouteux qui le constitue est puissamment colmaté de sable limoneux, réalisant un sérieux filtre naturel. De plus, les eaux de l'oued sont intégralement détournées à 5 kilomètres en amont, pour former la seguia Bachia, de sorte que le lit au niveau des captages est presque toujours à sec.

Nous avons effectué dans le Reraïa, au niveau de Tahanaout, l'expérience à la fluorescéine, qui est demeurée négative (22).

Les travaux des captages municipaux s'effectuent conformément aux vœux du X^e Congrès d'hygiène (23) et aux instructions approuvées le 2 juin 1924 par le Conseil supérieur d'Hygiène (24). Le périmètre de protection (25) est envisagé dans les limites utiles maxima. La surveillance des eaux sera assurée par des examens physiques, chimiques et bactériologiques fréquents. Un poste de javellisation et de surveillance est prévu à l'origine de la conduite adductrice.

Par gravitation dans la canalisation d'amenée, l'eau potable atteindra le réservoir de l'Aguedal, d'où partiront les canalisations de distribution vers le Gueliz et la Medina. Le croquis annexé situe le projet hydraulique dans la plaine de Marrakech.

Notre sujet étant examiné au point de vue synthétique, nous abordons, dans le prochain chapitre, l'étude analytique des eaux du Haut-Atlas-Haouz.



Curage d'un regard de rethara (La Koba)

17 mars 1925



Retharas anciennes (à droite) et récentes (à gauche) Aguedal-Est

17 mars 1925

CHAPITRE IV

ANALYSE DES EAUX

I

Prélèvement des échantillons

Nos examens de laboratoire ont porté sur des échantillons d'eaux superficielles et profondes du Haut-Atlas et de la plaine de Marrakech. Nous avons effectué les prélèvements avec les précautions d'usage. Pour l'examen physico-chimique, nous avons utilisé des fioles neuves d'un litre, en verre blanc, nettoyées au carbonate de soude, au permanganate, à l'acide sulfurique, puis rincées à l'eau distillée jusqu'à parfaite neutralité. Les bouchons de liège étaient ébouillantés et paraffinés. Pour l'examen bactériologique, nous nous sommes servis de fioles de 125 et 250 cc, stérilisées, cachetées à la cire et emballées après emplissage dans des caisses pourvues de glace. Nous avons procédé aux analyses aussitôt après les prélèvements.

II

Méthodes

1. — Examen physique

Nous avons noté la température de l'eau et celle de l'air ambiant lors du prélèvement.

Nous avons apprécié la limpidité par diaphanométrie, la couleur par transparence, l'odeur à froid et au B. M. à 60°, la saveur par dégustation.

2. — Examen chimique

Nous avons effectué la recherche et le dosage des éléments ci-après, comme suit :

MATIERES ORGANIQUES. — Ce dosage consiste à mesurer l'oxygène consommé en milieu alcalin.

Nous avons utilisé :

1° Une solution de bicarbonate de soude au 10° ;

2° Une liqueur à 0 gr. 395 de permanganate de potassium par litre d'eau distillée, dont 1 cc équivaut à 0 mmgr 1 d'oxygène ;

3° Une solution d'acide sulfurique au demi ;

4° Une solution à 10 gr. de sulfate ferroso-ammoniac et 10 gr. d'acide sulfurique bouilli par litre.

Dans une fiole de 300 cc en verre de Bohême, on introduit 200 cc d'eau et 10 cc de solution de bicar-

bonate. Dans une deuxième fiole, semblable à la précédente, on introduit 100 cc d'eau et 5 cc de solution de bicarbonate. On porte à ébullition modérée durant dix minutes, après avoir ajouté dans chaque fiole 10 cc de liqueur permanganique. On refroidit rapidement. On verse alors respectivement 10 cc et 5 cc d'acide sulfurique au demi, puis 10 cc de liqueur ferroso-ammonique. La décoloration étant complète après agitation, titrer au caméléon jusqu'à l'obtention de la teinte rose très faible. La différence en ces deux essais représente, en mmgr., par litre d'eau, la quantité d'oxygène consommé.

AZOTE AMMONIACAL. — Nous avons utilisé la méthode colorimétrique au moyen :

1° du réactif de Nessler à l'iodomercurate potassique (26) ;

2° d'une liqueur à 38 mmgr. 2 de chlorure d'ammonium par litre, dont 1 cc représente 0 mmgr. 01 d'azote.

Dans un ballon en verre de deux litres, ajusté à un réfrigérant de Schloesing tout en verre, le tout préalablement purgé de vapeurs ammoniacales par distillation suffisante d'une solution diluée d'acide tartrique, on place 500 cc d'eau à analyser avec 10 gr. de Magnésie calcinée. On distille doucement 200 cc recueillis dans 4 tubes gradués à 50 cc. A chaque tube, on ajoute 2 cc de Réactif de Nessler et, après dix minutes, on dose colorimétriquement par comparaison avec une gamme étalon obtenue au moyen de la liqueur-type de chlorure d'ammonium.

AZOTE ALBUMINOIDE. — Au résidu de la distillation précédente, on ajoute 50 cc d'une solution renfermant par litre :

Permanganate de potassium..... 8 gr.
Soude caustique..... 200 gr.

On distille, comme ci-dessus, 200 cc, et titre au moyen du Réactif de Nessler.

AZOTE NITREUX. — Nous avons effectué ce dosage par colorimétrie, au moyen du réactif de Griess :

- a) Solution acétique d'acide sulfanilique à 1 % ;
- b) Solution acétique de naphtylamine *a* à 0,5 %.

Dans un tube à essai calibré, on introduit 50 cc d'eau, 1 cc de réactif *a*, 1 cc de réactif *b*. On agite et, après dix minutes, on compare la teinte obtenue avec celle d'une gamme étalon fournie par une liqueur-type ainsi préparée : 1 gr. 1 de nitrite d'argent dissout dans 500 cc d'eau distillée est additionné de 500 cc d'une solution à 0 gr. 836 de chlorure de sodium par litre. On agite et on filtre. 10 cc de cette solution sont étendus à un litre avec de l'eau distillée. 1 cc de cette nouvelle solution renferme 0 mmgr. 001 d'azote.

AZOTE NITRIQUE. — Le procédé colorimétrique de GRANVAL-LAJOUX nous a permis ce dosage avec :

1° le réactif sulfophénique : 6 gr. de phénol dissous à froid dans 72 gr. d'acide sulfurique ;

2° 10 cc d'une solution à 0 gr. 7214 d'azotate de potassium par litre sont évaporés au B. M., puis traités par 1 cc de réactif sulfophénique, 5 cc d'eau dis-

tillée, 10 cc d'ammoniaque au tiers, et portés au litre. 1 cc correspond à 0 mmgr. 001 d'azote ;

3° une solution de chlorure de sodium au 100°.

10 cc de l'eau à essayer sont évaporés au B. M. bouillant, puis traités par 1 cc d'acide sulfophénique, 5 cc d'eau distillée, 10 cc d'ammoniaque au 1/3. On dilue à 50 cc. L'intensité de coloration obtenue est comparée à une échelle étalon à base de liqueur-type et additionnée d'une dose de chlorure de sodium équivalente à celle de l'eau examinée.

ANHYDRIDE SULFURIQUE. — 200 cc d'eau additionnés de 10 cc de chlorure d'ammonium au 10° et de 2 cc d'acide chlorhydrique sont portés à ébullition. On ajoute alors, goutte à goutte, de la solution de chlorure de baryum au 10° jusqu'à cessation de précipité. On maintient l'ébullition 15 minutes, laisse refroidir et reposer 24 heures. On filtre, lave le précipité à l'eau bouillante jusqu'à complète élimination des chlorures. On sèche, calcine et pèse. Le poids, multiplié par 1,716, exprime l'anhydride sulfurique contenu dans un litre d'eau.

CHLORE. — Nous avons dosé le chlore sur 50 cc d'eau par la méthode volumétrique de CHARPENTIER-VOLHARD. 50 cc d'eau, placés dans un vase à filtration chaude, sont additionnés de 5 cc d'acide azotique, puis d'un excès mesuré de solution décimale d'azotate d'argent, soit 5 cc. On chauffe vers 80°, on agite et laisse refroidir. On ajoute 1 cc de solution saturée d'alun de fer et on titre par la solution décimale de sulfocyanure de potassium.

ALCALINITE. — Nous avons opéré le dosage volumétrique sur 100 cc d'eau, au moyen de la solution décinormale d'acide sulfurique, en présence de 3 gouttes d'héliantine, jusqu'à virage au rose faible. L'opération est recommencée avec 100 cc d'eau distillée. La différence volumétrique des deux dosages, multipliée par 28, exprime l'alcalinité de l'eau examinée en milligrammes de chaux par litre.

HYDROTIMETRIE. — Nous avons utilisé la méthode classique en employant la liqueur savonneuse de COURTONNE (26), titrée au moyen d'une solution à 0 gr. 55 de BaCl^2 par litre, dont 40 cc doivent nécessiter le contenu de 22 divisions de la burette spéciale.

Nous avons évalué, dans un essai préalable, le degré de dilution de l'eau, de façon à avoir une lecture approchant de 22. On introduit dans le flacon 40 cc de l'eau à examiner, diluée ou non selon le cas, et, à l'aide de la burette, on verse de la liqueur de savon jusqu'à obtention par agitation d'une mousse de 1 cc d'épaisseur persistant cinq minutes. La lecture, corrigée selon la dilution initiale, fournit le degré total.

La recherche du degré permanent s'effectue sur 200 cc d'eau portés à l'ébullition pendant une demi-heure. On laisse refroidir, on rétablit au volume de 200 cc avec de l'eau distillée bouillie, on agite, on filtre et on détermine le degré sur le filtrat. Les expériences de Bouton et Boudet ayant démontré qu'une certaine proportion de chaux correspondant à 3° hydrotimétriques reste dans l'eau, on retranche 3 des degrés obtenus dans cette opération.

RESIDU SEC. — 200 cc d'eau sont évaporés à sec au B. M. dans une capsule de platine tarée, de 50 cc environ. On porte le résidu à l'étuve à 110°, pendant 2 heures. On laisse refroidir dans le dessiccateur sulfurique et on pèse.

RESIDU APRES CALCINATION. — Le résidu sec est incinéré au rouge sombre. Après quelques minutes de chauffe et refroidissement, on verse dans la capsule 5 cc d'une solution saturée de carbonate d'ammonium. On évapore au B. M. La capsule est portée à l'étuve à 110° pendant 2 heures. On chauffe au rouge, on refroidit dans le dessiccateur et pèse. La différence de poids entre le résidu sec et le résidu après calcination constitue la perte au rouge.

SILICE. — Un demi-litre d'eau additionné de 3 cc d'acide chlorhydrique est évaporé au B. M. dans une capsule de platine. Le résidu est repris par un peu d'eau distillée et d'acide chlorhydrique. On évapore à nouveau. On chauffe à 250-300° au bain de sable pour insolubiliser la silice. On reprend par l'eau et récolte la silice insolubilisée sur un filtre Berzélius. On lave à l'eau bouillante pour éliminer HCl. On sèche, calcine et pèse. On reprend par 1 cc d'HF qui dissout la silice. On chauffe, décante le liquide clair surnageant, lave l'insoluble par décantation, sèche, calcine et pèse. La différence entre les deux pesées constitue la silice.

FER ET ALUMINE. — Dans le filtrat séparé de la silice, on ajoute à ébullition quelques centimètres

cubes d'acide azotique et, après quelques instants, 10 cc d'une solution de chlorure d'ammonium au 10° et de l'ammoniaque. Le précipité aggloméré et réuni sur un filtre est lavé à l'eau chaude. On sèche, calcine et pèse la somme $Al^2O^3 + Fe^2O^3$.

CHAUX. — 200 cc d'eau sont additionnés de 10 cc de chlorure d'ammonium au 5° et d'acide chlorhydrique jusqu'à réaction acide à l'hélianthine. On alcalinise légèrement à l'ammoniaque et filtre s'il se produit un précipité de fer. On revient au virage rouge avec HCl. On chauffe et, dès l'ébullition, on verse une solution saturée d'oxalate d'ammonium jusqu'à ce qu'une goutte ne produise plus de précipité. On ajoute alors d'un coup 10 cc de cette solution et on laisse refroidir. Vers 60°, on alcalinise avec 20 cc d'ammoniaque. Après 12 heures de repos, on décante sur un filtre Berzélius, on lave à l'eau ammoniacale au demi, on sèche, calcine et pèse à l'état de chaux.

MAGNESIE. — Le filtrat du précédent dosage, après séparation de l'oxalate calcique, est évaporé et calciné. Le résidu est dissous dans 50 cc d'eau bouillante, filtré. On lave le filtre. On ajoute au liquide 30 cc d'une solution au 20° de phosphate de soude et 30 cc d'ammoniaque. Après repos de 12 heures, le précipité est entraîné par décantation sur un filtre. On lave à l'eau ammoniacale, on sèche et calcine au rouge vif. Le poids de pyrophosphate de magnésie multiplié par 1,8 exprime la teneur en MgO par litre d'eau.

ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE. — Nous avons appliqué la méthode céruléo-molybdique de DENIGÉS (27), avec les réactifs.

- a) Molybdate d'ammoniaque..... 5 gr.
Eau distillée q. s. p. 50 cc.
Acide sulfurique 50 cc.

b) Dissoudre 0 gr. 10 d'étain en feuilles dans 2 cc d'acide chlorhydrique, avec une goutte de solution à 3 % de sulfate cuivrique. Étendre à 10 cc avec de l'eau distillée.

- c) Phosphate monoammonique 0 gr. 0162
Eau distillée 1 litre .

Le résidu, après calcination de 200 cc d'eau, est additionné d'acide chlorhydrique étendu, dissous et porté à 200 cc. 20 cc de la solution sont additionnés de 4 gouttes de réactif *a*, et, après agitation, de 3 gouttes de réactif *b*. On agite et examine après dix minutes la teinte obtenue, comparativement à une gamme étalon à base de réactif *c* renfermant 10 milligrammes de $P^{2}O^{5}$ par litre.

RECHERCHE DE L'ARSENIC. — Nous avons essayé la méthode CRIBIER (28), appliquée par LÉONARDON (29), au dosage de l'arsenic dans les eaux minérales. Dans un flacon poudrier de 125 cc, on introduit 50 cc d'eau, 6 cc 5 d'acide sulfurique. On complète à 75 cc avec de l'eau distillée. On maintient à 15°C, ajoute 2 gouttes de permanganate au millième, puis 1 goutte d'eau oxygénée officinale au 10^e, enfin 8 gr. de zinc pur en lames. Le flacon est muni d'un bouchon traversé par un tube de verre de 30 cm de

long sur 5 mm 5 de diamètre, garni d'une bande de papier Whatman de 15 cm sur 4 mm, d'abord immergé dans du sublimé au 20° pendant 1/3 d'heure, puis séché à l'obscurité. Le dégagement est abandonné pendant 6 heures. Le papier est alors fixé et viré dans une solution d'iodure de potassium au 10°, puis lavé et séché. La teinte jaune orangé produite par l'arsenic est comparée à une échelle étalon à base d'arséniate sodique introduit dans le générateur à doses graduées de 0 mmgr, 01 à 0 mmgr. 1 d'arsenic.

3. — Examen bactériologique

Nous nous sommes attachés à déceler par une méthode simple, rapide et spécifique, la présence du *Bacillus coli* et des espèces communes aux matières fécales et aux substances en putréfaction. Nous avons effectué la réaction du rouge neutre selon la technique de M. le Professeur ROCHAIX (30-31).

Le bouillon peptone-sel marin-rouge neutre est stérilisé dans des tubes et ballons de diverses grandeurs; les quantités sont mesurées de façon à représenter la moitié ou le tiers de la portion d'eau à ajouter pour l'examen. Nous avons fait une échelle de 0 cc 5 à 100 cc d'eau. Les tubes,ensemencés et portés à +41°5, sont examinés fréquemment entre la douzième et la quarante-huitième heure. Le virage du premier tube prouve l'existence d'un germe contaminant.

Pour compléter la signification de cet examen, nous avons eu recours à l'obligeance de M. LAFON,

médecin des hôpitaux militaires, chef de laboratoire de bactériologie à l'Hôpital Maisonnave, qui a bien voulu effectuer sept analyses bactériologiques complètes sur des échantillons d'eau de la ville prélevés simultanément avec ceux destinés à l'analyse chimique. Le résultat de ces examens est exposé à la suite des nôtres, dans le prochain paragraphe.

III

Résultats

Nous avons consigné dans les tableaux ci-après les résultats de nos dosages et de nos recherches de laboratoire. Afin d'apprécier le processus de la minéralisation, nous avons examiné les eaux de l'oued Reraïa depuis leur naissance sur les hauts sommets atlasiques jusqu'à leur absorption par les alluvions du Haouz (n^{os} 1 à 7). Cet oued alimente le réseau hydrographique des captages municipaux (n^{os} 29 et 30). D'autre part, la déclivité oblique de la plaine de Marrakech nous a incité à étudier les eaux orientales (n^{os} 8, 9, 10) et occidentales (n^{os} 11, 12, 13), enfin à considérer celles du fleuve collecteur Tensift (n^o 14). En ce qui concerne la ville, nous avons examiné l'eau des retharas utilisés par l'alimentation urbaine (n^{os} 15 à 21), ensuite les puits de la Medina et du Gueliz (n^{os} 22 à 28).

Enfin, nous avons consigné le résultat de deux analyses complètes effectuées récemment aux captages municipaux, examens que les travaux de chantier ne nous ont pas encore permis de multiplier, mais qui cependant ont déjà leur signification.

Fait suite à notre travail, le résultat de sept analyses bactériologiques complètes effectuées par M. le D^r LAFON.

Point du prélèvement	Oued Aïf Mizane (O. Reraïa)	Oued Reraïa Gué d'Asné	Oued Reraïa ament d'Agadir el Mel	Oued Reraïa niveau d'Agadir el Mel	Oued Reraïa aval d'Agadir el Mel	Oued Reraïa niveau de Tabanamt
Date du prélèvement	12 mai 1924 10 h. 14 9	7 août 1924 10 h. 18 14	7 août 1924 11 h. 22 16	7 août 1924 11 h. 30 24 17	7 août 1924 12 h. 26 18	7 août 1924 13 h. 30 49
Température de l'air — de l'eau						
Aspect	limpide	limpide	limpide	limpide	limpide	limpide
Odeur	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
Saveur	agréable	agréable	fade	salée	salée	fade
Oxygène consommé	0,2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,4
Azote ammoniacal	0	0,02	0,03	0,05	0,06	0,12
— albuminoïde	0	0,03	0,03	0,04	0,08	0,05
— nitreux	0	0	0	0	0	0
— nitrique	0	0,05	0,1	0,3	0,3	0,4
Résidu à 100						
Résidu après calcination	52	190	440	677	936	545
Silice	44	146	380	595	852	450
Fer et alumine	2	3	5	6	6	8
Chaux	1	1	2	2	2	2
Magnésie	16	62	74	86	92	85
Anhydride sulfurique	3	10	18	20	25	23
Chlore	0	8	14	21	32	31
Anhydride phosphorique	3	14	142	294	433	215
Arsenic	0	0	0	0	0	0
Degré hydrotimétrique total	0	0	0	0	0	0
— permanent	4	14	18	21	21	20
Alcalinité en Ca o	1	3	7	9	9	9
	17	70	89	110	110	94
Germes contaminants par litre	< 40	50	200	200	200	500
Conclusions de (minéralisation (potabilité	bonne bonne	bonne médiocre	bonne suspecte	mauvaise suspecte	mauvaise suspecte	bonne suspecte

Numéro d'ordre	7	8	9	10	11	12
Point du prélèvement	Seguia Bachia (dérivation de l'O-Reraia)	Oued Tessaout (Pont)	Oued R'dat (Sidi Rchah)	Seguia Tasseltant (dérivation de l'O-Ourlka)	Oued N'fis (Pont)	Oued Chichaoua (Ras et Aïn)
Date du prélèvement	23 sept. 1924 10 h. 27 17	30 déc. 1924 9 h. 9 7	15 nov. 1924 10 h. 20 16	23 sept. 1924 11 h. 28 19	26 août 1924 10 h. 27 17	27 octobre 1924 9 h. 24 23
Température de l'air — de l'eau						
Aspect Odeur Saveur	trouble nulle fade	limpide nulle fade	trouble nulle salée	trouble nulle fade	limpide nulle fade	limpide nulle fade
Oxygène consommé	2,8	1,2	2,7	1,4	1,8	1,1
Azote ammoniacal	0,2	0,09	0,2	0,07	0,05	0,15
— albuminoïde	0,4	0,07	0,4	0,03	0,04	0,08
— nitreux	0,005	0	0,002	0	0	0,002
— nitrique	1,1	0,16	0,8	0,7	0,3	0,7
Résidu à 100	556	580	1-152	362	340	744
Résidu après calcination	368	500	968	280	225	522
Silice	14	42	47	14	17	18
Fer et Alumine	2	4	7	4	3	2
Chaux	72	76	121	45	73	136
Magnésie	23	23	55	16	54	54
Anhydride sulfurique	31	43	137	18	19	62
Chlore	210	149	456	92	78	71
Anhydride phosphorique	0,1	0	0	0	0	0,4
Arsenic	0	0	0	0	0	0
Degré hydrotimétrique total	49	21	48	14	18	45
— permanent	8	10	27	7	8	22
Alcalinité en Ca O	76	79	112	59	76	168
Germes contaminants par litre	> 2.000	1.500	> 2.000	> 2.000	500	1.000
Conclusions de { minéralisation	bonne	bonne	mauvaise	bonne	bonne	médiocre

Numéro d'ordre	13	14	15	16	17	18
Point du prélèvement	Cibachaca Puits du poste militaire	Oued Tensift (Pont)	Aguedal Rethara Sidi Mamoun	Aguedal Rethara Baraka	Aguedal Rethara Dar	Aguedal Rethara Zemzenia
Date du prélèvement	27 octobre 1924	8 mars 1925	16 février 1925	16 février 1925	16 février 1925	16 février 1925
Température de l'air — de l'eau	17 h. 27 22	10 h. 15 17	9 h. 15 19	10 h. 16 19	14 h. 17 19	9 h. 15 19
Aspect Odeur Saveur	limpide nulle fade	trouble léger nulle fade	limpide nulle fade	limpide nulle fade	limpide nulle fade	limpide nulle fade
Oxygène consommé	0,8	3,7	2,1	1,3	1,2	1,1
Azote ammoniacal	0,09	2,1	0,4	0,08	0,06	0,04
— albuminoïde	0,1	1,3	0,03	0,04	0,02	0,03
— nitreux	0,001	0,006	0,001	0	0	0
— nitrique	0,6	2,4	0,6	0,5	0,5	0,4
Résidu à 100	1.350	2.250	518	530	510	528
Résidu après calcination	1.050	1.710	354	342	336	324
Silice	21	23	35	37	27	23
Fer et alumine	3	6	3	3	3	2
Chaux	193	168	140	124	92	92
Magnésie	168	72	37	35	32	28
Anhydride sulfurique	105	480	33	31	26	26
Chlore	149	894	142	128	131	134
Anhydride phosphorique	0,5	0	0,1	0	0	0
Arsenic	0	0	0	0	0	0
Degré hydrotimétrique total	86	75	24	23	22	22
— — permanent	53	43	12	11	10	9
Alcalinité en Ca o	235	140	162	152	120	112
Germes contaminants par litre	500	> 2.000	500	200	200	100
Conclusions de { minéralisation potabilité	médiocre suspecte	mauvaise mauvaise	bonne suspecte	bonne suspecte	bonne suspecte	bonne suspecte

Numéro d'ordre		19	20	21	22	23	24
Point du prélèvement		Aguedal Retbara Berda Rbedima	Aguedal Retbara Mouassine	Aguedal Retbara Roba	Medina Puits du Bureau rég. des renseignements 7 m. de profondeur	Medina Puits du Derl Téougarine 10 m 50 de profond.	Av. du Gueliz Puits de l'imm. du chef des Serv. municipaux 6 m 80 de profond.
Date du prélèvement		21 février 1925 9 h. 16 19	21 février 1925 40 h. 17 19	21 février 1925 11 h. 18 19	3 mars 1925 8 h. 16 19	8 mars 1925 15 h. 22 20	11 mars 1925 9 h. 21 19
Température de l'air — de l'eau							
Aspect Odeur Saveur		limpide nulle fade	limpide nulle — fade	trouble nulle fade	trouble léger fécaloïde à ch. saumâtre	trouble léger fécaloïde à ch. saumâtre	trouble léger fécaloïde à ch. saumâtre
Oxygène consommé		1,3	1,8	2,5	3,8	2,7	3,2
Azote ammoniacal		0,06	0,09	0,2	0,2	0,18	0,3
— albuminoïde		0,04	0,05	0,45	0,26	0,07	0,2
— nitreux		0	0	0,003	0,008	0,005	0,01
— nitrique		0,3	0,4	0,8	0,6	0,9	1,2
Résidu à 100		565	524	610	1.620	1.160	1.880
Résidu après calcination		350	316	396	1.400	850	1.400
Silice		24	30	34	27	31	34
Fer et alumine		3	3	4	4	3	4
Chaux		96	92	108	162	158	168
Magnésie		27	32	58	63	59	78
Anhydride sulfurique		29	28	36	47	62	58
Chlore		146	142	181	284	218	568
Anhydride phosphorique		0	0	0,1	0,2	0	0,1
Arsenic		0	0	0	0	0	0
Degré hydrotimétrique total		23	22	26	42	48	57
— permanent		10	9	11	23	21	31
Alcalinité en Ca o		115	115	162	224	196	200
Germe contaminants par litre		100	500	> 2.000	> 2.000	> 2.000	> 2.000
Conclusions de { minéralisation potabilité		bonne suspecte	bonne suspecte	bonne mauvaise	médiocre mauvaise	médiocre mauvaise	mauvaise mauvaise

Point du prélèvement	Gueliz Puits des Travaux municipaux 7 ^m 50 de profond.	Gueliz Puits du camp des Oliviers 8 m. de profondeur	Gueliz Puits de l'ambu- lance Desserie 9 ^m 50 de profond.	Gueliz Puits des subsis- tances militaires 12 m. de profond.	Captages municip. cot 752 Première nappe 8 ^m 50 de profond.	Captages municip. puits 20 Deuxième nappe 12 ^m 50 de profond.
Date du prélèvement	11 mars 1925 40 h. 24 17	47 février 1925 8 h. 42 20	47 février 1925 8 h. 30 42 49	47 février 1925 9 h. 43 46	19 janvier 1925 15 h. 45 49	13 mars 1925 45 h. 45 44
Température de l'air — de l'eau						
Aspect Odeur Saveur	limpide nulle fade	trouble nulle fade	limpide nulle fade	trouble léger fécaloide a ch. saumâtre	limpide nulle fade	limpide nulle fade
Oxygène consommé	1,2	2,4	4,9	2,8	0,7	0,6
Azote ammoniacal	0,04	0,06	0,04	0,8	0,02	0,03
— albuminoïde	0,03	0,45	0,08	0,2	0,03	0,01
— nitreux	0	0,002	0,001	0,007	0	0
— nitrique	0,4	0,6	0,7	1,2	0,6	0,8
Résidu à 100						
Résidu après calcination	720	860	780	930	440	530
Silice	600	524	510	545	285	390
Fer et alumine	26	27	23	38	42	14
Chaux	6	10	8	43	2	2
Magnésic	124	126	148	134	89	98
Anhydride sulfurique	45	67	71	75	46	27
Chlore	28	42	40	32	32	35
Anhydride phosphorique	197	199	192	213	420	177
Arsenic	0	0	0	0	0,2	0,2
Degré hydrotimétrique total	0	0	0	0	0	0
— permanent	34	43	42	47	21	22
Alcalinité en Ca o	48	22	21	24	40	44
	168	184	190	207	89	412
Germes-contaminants par litre	50	500	500	> 2.000	< 40	< 40
Conclusions de (minéralisation (potabilité)	bonne médiocre	bonne suspecte	bonne suspecte	médiocre mauvaise	bonne bonne	bonne bonne

Número d'ordre correspondant	20	20 bis	22	26	27	28	29
Point du prélèvement	Reihara Monassine	Fontaine Monassine	Puits du Bureau rég. des renseignements	Puits du Camp. des Oliviers	Puits de l'ambulance Desserie	Puits des subsistances militaires	Captages municipaux Première nappe
Liquéfaction totale de gélatine	4 ^e jour 2.520 6	5 ^e jour 2.220	6 ^e jour 4.328	5 ^e jour 4.200 dès 4 ^e jour	4.800	7 ^e jour 2.742 dès 3 ^e jour 8 nombreuses	134 0 30
numération { aérobies par cc { anaérobies moissures		3 au 6 ^e jour en gél.			2		
Énumération des microbes saprophytes	B. termo B. janthinus B. fluorescens li- quefaciens B. proteus vulgaris tetragene Staphylocoque Micrococcus ci- treus Levure blanche	B. megaterium B. fluorescens li- quefaciens B. termo Spirillum tenue Staphylocoque Streptocoque Sarcina lutea Mucorinées	B. megaterium B. fluorescens li- quefaciens B. mesentericus B. aqualis su- batus Spirillum serpens Micrococcus ver- sicolor Enterocoque Levure jaune Mucorinées	B. megaterium B. fluorescens li- quefaciens et non liquefaciens Micrococcus ureae Staphylocoques B. radiatus aqua- tilis	B. megaterium B. termo B. pyocyanique B. fluorescens non liquefaciens Enterocoques Staphylocoques Sarcina candida et lutea Aspergillus fumi- gatus	B. termo B. fluorescens li- quefaciens B. mesentericus Pneumobacille de Friedlander Vibron ordinaire des eaux Micrococcus ver- sicolor Staphylocoques Micrococcus pro- digiosus Mucorinées	B. subtilis B. mesentericus vul- garis Vibron non pa- thogène des eaux Micrococcus can- didus M. viticulosus M. citreus M. aurantiacus Sarcina lutea Mucor mucedo- Aspergillus
Microbes de la putréfaction	Proteus vulgaris	B. albus putridus spirillum tenue	B. luteus putridus Spirillum serpens	B. fluorescens pu- tridus Spirillum tenue	Staphylocoques	B. albus putridus Proteus vulgaris B. fluorescens pu- tridus	0
Nombre de B. coli par litre	1.000	4.000	500	500	200	4.000	5
Microbes pathog.	Staphylocoque	Streptocoque Staphylocoque				Pneumobacille de Friedlander	
Odeur des cultur. en gélatine	putride	putride	putride	putride	fade, puis aigrelet. non putride	fécaloide	fade

IV

Interprétation des résultats

L'appréciation de la valeur des eaux du Haouz de Marrakech se dégage des examens hydrogéologiques et chimico-bactériologiques précédemment exposés.

I. — *Au point de vue physique*, une distinction est à faire entre les eaux souterraines (émergences du réseau profond, point de captage, retharas) et celles de surfac (oueds, seguias). Les premières sont limpides et inodores ; elles échappent, dans le sol, à l'influence directe des agents extérieurs. L'opalescence de l'eau de certains puits est imputable à leur séjour prolongé à travers des couches marno-argileuses, et se montre en rapport avec leur degré hydrotimétrique. La température des eaux de la nappe phréatique aux points protégés subit peu de variations et reste proche de la moyenne aérothermique (19°2). La saveur dépend de la minéralisation. Les eaux superficielles réparties sur les alluvions argileuses et exposées aux agents atmosphériques doivent leur trouble à la suspension de particules limoneuses mécaniquement entraînées.

II. — *Au point de vue chimique*, la composition des eaux est sous la dépendance de plusieurs facteurs.

Pour les oueds, les matières organiques et l'azote

albuminoïde, en faible proportion dans la zone montagneuse, atteignent souvent et dépassent quelquefois dans la plaine les limites de potabilité (n^{os} 7, 14).

Les eaux captées au sud de Marrakech (n^{os} 15 à 21 et (29-30) satisfont aux conditions. Mais la plupart des puits de la Medina et du Gueliz (n^{os} 22, 23, 24, 28) accusent une teneur trop forte en ces éléments. L'azote nitreux est un indice de pollution et ne paraît pas d'origine extra-organique (32).

Nous ferons des réserves pour les chlorures. Contrairement à l'opinion de M. CHAMBELLAND (19), qui attribue, à Marrakech, les doses élevées de chlore à la pollution bactérienne par la souillure permanente du sol, nous estimons qu'il ne faut pas négliger le point de vue géologique pour les raisons suivantes :

1° Le taux de chlore n'est pas en rapport avec la teneur en matières organiques et en microbes contaminants. L'eau des captages municipaux (n^o 29) accuse 120 milligrammes de chlore avec 0 anaérobies et 5 colibacilles.

M. GUILLERD (33) estime qu'une émergence débitant 20 litres-secondes (moyenne rethara) devrait recevoir par 24 heures les urines de 40 têtes de bétail pour accuser une augmentation d'un milligramme de chlore par litre. Une eau renfermant 300 milligrammes de chlore équivaldrait à la teneur d'une urine normale diluée au 20^e, ce qui supposerait une effroyable souillure. Les statistiques épidémiologiques démentent un tel état de choses.

2° Nos dosages sur les eaux prélevées le même jour, le long de l'oued Reraïa, montrent que le chlore est

un apport géologique. Il s'élève de 3 milligrammes au cirque d'Arround à 14 à Asni, 142, 291 et 433 à Agadir el Mel (n^{os} 1 à 5).

L'analyse d'une nappe saumurée, à proximité de l'oued (voir p. 31), nous a révélé le voisinage de gisements gypso-salins, dont l'influence se traduit par un brusque gain des eaux fluviales en chlorures, sulfates, chaux magnésie. Dès lors, le taux de chlore se maintient élevé, mais diminue dans les niveaux inférieurs par dilutions successives (n^{os} 6-7).

3° En raison de la déclivité générale du substratum paléozoïque du Haouz, les alluvions septentrionales de la plaine de Marrakech subissent un drainage partiel des eaux issues de la portion orientale du Haut-Atlas (volcans salifères de Demnat et de Sidi Rehal), ce qui explique l'accroissement des chlorures dans le réseau souterrain du Gueliz, comme dans les eaux du Tensift.

Le chlore géologique est donc l'apanage des résurgences du permo-trias, naturellement riches en mines de sel. Le chlore des eaux du Haouz résulte du mélange des eaux de lixiviation des gisements gypso-salins du Haut-Atlas. Dans ces conditions, la part du chlore d'origine animale doit être faible. La fixité du chlore total pour chaque point observé est une garantie de potabilité, toutefois influencée par les conditions météorologiques.

Au point de vue alimentaire, la dose entre en jeu. Pour plus de 250 mmgr. de chlore, l'eau acquiert un goût salé capable de provoquer une certaine intolérance (n^{os} 4, 5, 9, 14, 22, 23, 24). Les meilleures eaux

du Haouz sont situées entre le Haut-Atlas et Marrakech, où le taux varie entre 50 et 200 (n^{os} 15 à 21, 20, 30). Les indigènes ont d'ailleurs toujours estimé l'eau des oueds Tessaout, Ourika, N' fis, et exploité la nappe phréatique au sud de l'Aguedal pour l'alimentation urbaine.

La présence de phosphore dans les eaux pures du pied de l'Atlas (n^{os} 29-30) indique l'origine géologique, d'ailleurs justifiée, de cet élément. Les sédiments phosphatés des terrains crétacés-éocènes qui bordent le Haouz sont une preuve de la continuité profonde de ces formations, lesquelles cèdent aux eaux de drainage, par lixiviation carbonique ou simple entraînement de particules de phosphates naturels (n^{os} 12-13). (Voir croquis géologique, p, 13.)

Les taux de silice, de fer et d'alumine progressent, en raison même de la nature des terrains, au fur et à mesure du cheminement interstitiel des eaux, et se maintiennent dans des limites acceptables.

La teneur en sulfates, chaux et magnésie s'accroît au contact des terrasses crétacées du Haut-Atlas, des roches gypso-calcaires et dolomitiques des couches alluviales profondes et des émergences du sôcle hercynien. Cette minéralisation, favorisée par l'action de l'acide carbonique, augmente les mesures hydrotimétriques, l'alcalinité totale et les résidus secs.

C'est ainsi que pour les eaux comprises entre Marrakech et l'oued Tensift, le degré hydrotimétrique total varie de 34 à 75, la perte au rouge de 120 à 540, la magnésie de 45 à 140 (n^{os} 9, 14, 22 à 28). Ce dernier élément communique un arrière-goût désagréable,

nettement perceptible dans les infusions de thé ou de café. Ces eaux cuisent assez mal les légumes, se prêtent médiocrement au savonnage, à la teinture, à l'alimentation des chaudières, etc. Les eaux du Gueliz et du Chichaoua appartiennent à cette catégorie.

III. — *Le résultat des examens bactériologiques* vient corroborer la signification des éléments accidentels décelés dans nos recherches chimiques. C'est ainsi que les eaux renfermant des nitrites et une dose élevée d'azote albuminoïde sont fortement polluées.

La souillure des eaux superficielles est à peu près générale, et il ne pourrait en être autrement dans un pays où l'indigène n'observe aucune mesure d'hygiène collective. La souillure des eaux souterraines l'est encore davantage. Que peut-on espérer d'une rethara creusée en l'an 1189 ou sous le règne des sultans Saadiens ?

Le 3 mars 1923, les eaux de la Monassine, avant leur entrée en ville (n° 20), accusaient 2.520 aérobies au centimètre cube, 1.000 colibacilles par litre, et la présence de *B. janthimis*, de *Proteus vulgaris*, de *Staphylocoques*, d'Anaérobies vraies, témoins d'une impureté certaine. A la fontaine de la mosquée (n° 20 bis), elle marquait 2.220 aérobies, 4.000 colibacilles, avec germes variés de la putréfaction et germes pathogènes. Ces simples constatations se passent de commentaires. Nous avons déjà rappelé les défectuosités du réseau hydraulique indigène.

Les puits de la Medina et du Gueliz paraissent franchement contaminés. Un seul (n° 25) ne donne que 50

germes contaminants au litre. Dans le chapitre III, nous avons vu que le champ d'expansion des influences animales était orienté dans le sens d'écoulement des eaux, ce qui explique la pollution progressive du réseau profond suivant l'axe SSE-NNW.

L'analyse complète des eaux des captages municipaux (n° 29) vient confirmer quelques examens préalables déjà satisfaisants. Ces eaux sont originellement pures : ni germes pathogènes, ni germes de putréfaction, ni anaérobies. Seulement 5 colibacilles au litre, quelques saprophytes banaux avec prédominance marquée des microcoques sur les bacilles ; en somme, aucune souillure organique appréciable. L'examen de la deuxième nappe (n° 30) montre que si les eaux sont sensiblement plus minéralisées (le prélèvement n'a pu être fait à l'émergence, mais seulement dans un puits collecteur), elles n'en sont pas moins exemptes de germes dangereux. Toutefois, les analyses de ces eaux méritent d'être renouvelées au fur et à mesure des travaux en cours, afin de pouvoir établir leur valeur définitive.

Il nous reste à examiner l'action physiologique des eaux de Marrakech dans un aperçu épidémiologique, qui fera l'objet d'un dernier chapitre.

CHAPITRE V

APERÇU ÉPIDÉMIOLOGIQUE

Étiologie. — Nous savons, par les écrits des savants médecins et chroniqueurs de l'Islam, combien fréquentes et violentes furent les épidémies de choléra, de variole, de typhus et de peste qui, à travers les siècles, ont ravagé l'empire du Moghreb (34). A Marrakech, carrefour des grandes pistes chérifiennes, la diffusion des germes infectieux fut favorisée par l'émigration intense vers les terres fertiles de la Mauritanie tingitane des nomades sahariens.

Peu après la victoire des Almoravides (x^e siècle), ABOUL-ALA (35) fit mention, dans son *Tedkira*, des maladies imputées à la sécheresse de l'air dans Marrakech, et à la pollution de l'eau de ses canalisations. La pratique du temps consistait à précipiter dans les puits ou à abandonner sur place les cadavres des ennemis massacrés au cours des sièges de la forteresse (36).

GIOVANNI DI CARIGNA, recteur de San Marco de Gênes (1314), rapporte dans sa légende du planisphère (37) le récit des fatigues endurées par les caravaniers du désert se rendant, par Marrakech, du Tafilalet au Soudan : « Parfois, la chaleur était si forte, le soleil étant au zénith, qu'ils urinaient du sang. » Nous pensons aujourd'hui à une affection parasitaire, la bilharziose en particulier.

Depuis l'occupation française, les conditions d'hygiène se sont considérablement améliorées (38).

Le recensement de la population de Marrakech, mis à jour le 1^{er} janvier 1924, accuse 139.874 habitants, ainsi répartis : 1.494 Français, 617 Italiens, 155 Espagnols, 42 Anglais, 41 Grecs, 57 étrangers divers, 11.043 Israélites, 126.875 Musulmans. En outre, l'effectif de la garnison comprend environ 3.280 militaires d'origine européenne, algéro-tunisienne, marocaine, sénégalaise. La faible population européenne, composée de colons, de commerçants et de fonctionnaires, se prête mal, par son manque d'homogénéité et d'équilibre des divers âges de la vie, aux statistiques sanitaires. La promiscuité des éléments civils et militaires soumet ces deux populations aux mêmes facilités de contagion et répartit uniformément le développement des affections épidémiques. Toutefois, le milieu militaire, médicalement surveillé, mieux soigné, mieux isolé, récolte plus de contagion qu'il n'en répand. Chez l'élément indigène, les enquêtes médicales se compliquent en raison de la difficulté d'obtenir la déclaration au Bureau d'Hygiène des maladies contagieuses, et du trafic intense dont sont l'objet les

marchés périodiques, les souks et les fondonks ou caravansérails de Marrakech, centre actif de commerce avec le Maroc saharien.

L'hôpital Maisonnave reçoit les malades européens de Marrakech et les indigènes de la ville et les nomades de passage. C'est dire jusqu'à quel point il est difficile d'établir l'origine des affections hydriques constatées à Marrakech.

CAS CONSTATÉS : HOPITAL MAISONNAVE								HOP. MAUCHAMP		
Année	Paludisme		Affections gastro intestinales	Dysenterie		Typhoïde	Para typh. A	Paludisme		
	prim.	sec.		ami-bienne	bacil-laïre			Consul-tants	Hos-pital.	Décès
1920	26	21	161	38	9	12	17	7.500	108	12
1921	16	12	207	32	39	16	3	10.350	100	18
1922	56	28	234	69	9	16	3	7.510	111	8
1923	65	3	196	109	18	7	5	6.550	171	9
1924	58	12	69	33	5	3	3	5.900	183	11

La statistique hospitalière (voir tableau) de ces affections, au cours des cinq dernières années, montre que les atteintes gastro-intestinales sont sous l'étroite dépendance du rythme des précipitations atmosphériques, autrement dit de la souillure de la nappe phréatique par les eaux pluviales. Ainsi, l'année 1924, particulièrement sèche (199 millimètres), marque une décroissance des deux tiers environ sur 1923, année pluvieuse (352 millimètres). Les maladies dysentériques et typhiques transmissibles par l'eau souillée, les aliments crus, les mains malpropres (40-

41), les mouches,, accusent une recrudescence de morbidité au printemps et à l'automne.

Les selles diarrhéiques sont souvent infestées de protozoaires flagellés ou infusoires, commensaux d'*Entamoeba dysenteriae* : *Giardia* et *Trichomonas intestinalis* (42-43), *Balantidium coli* (44).

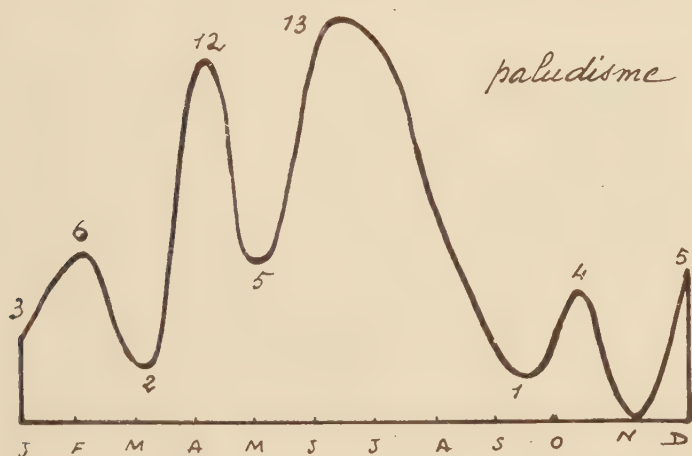
Quelques cas de Bilharziose vésicale ont été signalés depuis 1914. Le foyer de cette affection paraît cantonné dans les eaux semi-stagnantes des bassins et des marais entourant Marrakech (45). Nous avons récolté, sur les bords du Charrige el Hena de l'Aguedal, plusieurs spécimens de *Bullinus contortus* infestés de *Schistosomum hæmatobium*. Nous avons aussi constaté la fréquence de cercaires de *Fasciola hepatica* chez *Limnea truncatula* des marais de bab Roob et de bab Ghemat.

La courbe malarique accuse deux maxima correspondant à l'évolution printanière du *Plasmodium Vivax* et à celle automnale du *P. Malariae*, avec plateau élevé pendant les fortes chaleurs. Rare au Gueliz, l'endémie palustre sévit particulièrement aux abords de la Menara. Les Haras marocains et le détachement de l'aviation militaire, cantonnés à proximité de ce grand jardin, ont été, en 1923, particulièrement touchés. D'après les statistiques de M. FERRIOL, médecin-directeur du Bureau d'Hygiène, l'index splénique des enfants indigènes des douars voisins s'élève à 65 % de 0 à 5 ans, à 75 % de 5 à 10, à 50 % de 10 à 15 ans (46). Au pied de l'Atlas, il atteint, dans certaines tribus, 95 %. Les paludéens de l'hôpital Mauchamp sont surtout originaires du Dra, du Sons, du Tafilalet.

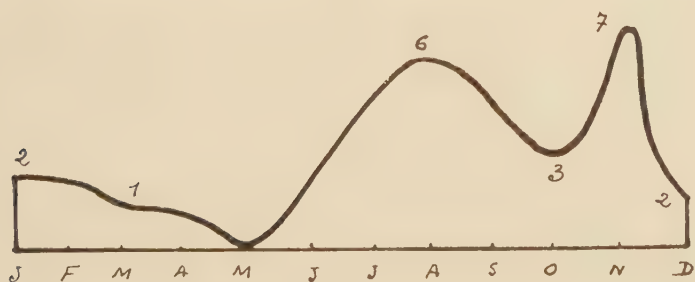
Chez l'indigène adulte, cette affection se complique souvent de formes aiguës ou chroniques graves, dues à un état général déficient (cachexie palustre, accès pernicioeux).

Enfin, le *Phlebotome* et le *Stegomyia fasciata* paraissent acclimatés dans les jardins et les patios de

Hopital Maisonnave - Cas 1924



dysenterie amibo. bacillaire



la Medina (39-41). Mais il n'a pas été constaté de cas de dengue ni de fièvre jaune.

Prophylaxie. — L'importante agglomération de Marrakech a vécu jusqu'ici dans des conditions défectueuses d'hygiène que M. le D^r FERRIOL a clairement exposées dans ses rapports à la Commission d'Hygiène municipale, et sur lesquelles il est inutile que nous insistions. La municipalité actuelle, par la création d'un réseau d'égouts, d'un réseau d'eau potable, par la réfection des chaussées et autres mesures de salubrité publique, réalise un sérieux effort d'assainissement.

Indiquons rapidement les mesures prophylactiques collectives et individuelles qui s'imposent à Marrakech, dans la lutte contre les affections endémo-épidémiques :

I. — Destruction des gîtes larvaires de moustiques par drainage, comblement ou dessèchement des marécages qui avoisinent la plupart des portes de la Medina ; curage, desherbage, faucardage, régularisation ou cimentation des séguias ; protection des points d'eau, couverture des regards de rethara ; désinfection des puits et des mares par la chaux vive. Distribution, dans les pièces d'eau, de poissons larvicides : cyprins, barbeaux, anguilles.

II. — Usage d'insecticides (pulvérisation de pyrèthre, fumigation de tabac), de grillages métalliques, de gaze moustiquaire à six mailles par centimètre.

III. — Déparasitation des porteurs d'hématozoaires et traitement préventif par quininisation rationnelle (5 centigrammes de chlorhydrate de quinine pour les enfants de moins de 5 ans; 10 centigrammes pour ceux de 5 à 10; 20 centigrammes de 10 à 15; 25 à 50 centigrammes pour l'adulte).

IV. — Destruction des mouches par les insecticides (pyrèthre, papier-glu) ou les antiseptiques (lait, 25 ; formol, 10; eau, 65 p.).

V. — Nettoyage à l'eau crésylée ou au chlorure de chaux des abords des habitations, fosses d'aisances, fumiers. Désinfection des selles, crachats, linge des malades.

VI. — Hygiène corporelle et alimentaire. Port d'une ceinture de laine contre le refroidissement abdominal. Absorption d'une eau reconnue potable, sinon bouillie ou chimiquement épurée, d'aliments cuits.

VII. — Développement de la culture moyenne à tous les étages sociaux. Répression de l'abus des alcools et de l'usage du Kif. Vulgarisation des mesures prophylactiques par réglementation locale et enseignement aux groupes scolaires.

Epuration chimique des eaux alimentaires

L'épuration des eaux alimentaires acquiert au Maroc une importance capitale. Exposons succinctement le principe et la mise en œuvre des procédés actuellement en usage.

A. — LA JAVELLISATION. — Ce procédé, applicable aux grandes collectivités, est prévu aux captages municipaux de Marrakech. Il se recommande par le grand pouvoir microbicide du chlore, aisément manipulable sous forme d'hypochlorite de sodium dissous. Dissocié de sa combinaison au contact de l'eau, cet halogène se fixe sur les matières organiques, puis sur les bactéries. Son excès transforme à la longue les bicarbonates alcalins et alcalino-terreux en chlorures. Cette absorption se montre ainsi fonction de : 1° la composition bio-chimique de l'eau ; 2° la température ; 3° la durée de contact.

Elle s'effectue selon une loi logarithmique (48). De sorte qu'un excédent de chlore actif est éliminé automatiquement sur un long parcours dans les canalisations.

L'opération s'effectue dans une installation aménagée à l'origine et au-dessus de la galerie adductrice. Une brusque dénivellation imprime un brassage des

eaux sous une série de récipients à robinets compte-gouttes par lesquels la liqueur de chlore titré et maintenue à la pression atmosphérique s'écoule proportionnellement au débit de la canalisation et à la teneur des eaux en matières organiques. La dose nécessaire et suffisante est recherchée préalablement. On détermine le test de chlore avec une solution d'hypochlorite, dont une goutte représente 0 mmgr, 025 de *Cl* par litre d'eau, et du réactif ioduro-amidamé. Pour les eaux limpides de Marrakech (captages de Tahanaut, retharas de l'Aguedal), un milligramme de matière organique est détruit par 0 mmgr. 55 de chlore actif. La stérilisation est totale en ajoutant au test 0 mmgr. 2 de chlore. Ainsi, deux gouttes d'hypochlorite à 30 degrés épurent dix litres d'eau, consommant un milligramme d'oxygène au litre. Un essai final permet d'apprécier la présence ou l'absence du chlore résiduel.

M. le Pharmacien principal de 1^{re} classe FROMENT a très exactement mis au point ce mode d'épuration aux sources de Tit Mellil et de l'oued Mellah qui alimentent Casablanca.

Ce procédé joint à la plus grande sécurité une modicité de prix de revient appréciable.

B. — LE PROCEDE LAMBERT-GARRET.— L'usage des poudres stérilisantes inscrites au formulaire pharmaceutique des hôpitaux militaires (49) est avantageux pour les agglomérations restreintes, et permet l'épuration d'eaux troubles et médiocres. Il est en vigueur à l'hôpital Maisonnave, à l'infirmérie-ambu-

lance Desserie, dans la plupart des unités du camp militaire et dans les établissements publics de Marrakech.

On introduit la poudre oxydante dans l'eau à épurer à raison de un gramme pour deux litres, quantité généralement suffisante. Le permanganate de potassium oxyde totalement en moins de vingt minutes les éléments organiques. L'excès de caméléon est alors décomposé par la poudre réductrice introduite à son tour et dans les mêmes proportions au sein de l'eau. On filtre, après vingt à trente minutes de contact, sur un entonnoir de Garet muni d'ouate de tourbe. Les déchets minéraux et organiques précipités (limon, bactéries, protozoaires, œufs et larves de parasites, débris végétaux, etc) sont retenus par la boue aluminocalcaire, et l'eau épurée s'écoule parfaitement limpide. L'opération s'effectue commodément dans deux récipients d'égale capacité, superposés de telle sorte que le plus élevé, destiné à l'épuration chimique, communique par un robinet inférieur avec l'entonnoir filtrant placé à la partie supérieure du récipient le plus bas où se collecte l'eau potable.

CONCLUSIONS

I. — Le Haut-Atlas occidental et la plaine de Marrakech réalisent un important système hydrogéologique régi par les phénomènes cosmiques anciens et actuels. Dans ses profondeurs, le Haouz alluvionnaire draine un complexe réseau hydrographique alimenté par les apports météoriques au niveau des terrains perméables et fissurés qui constituent les contreforts de la haute chaîne. La déclivité générale du substratum paléozoïque et des sédiments impose une orientation SSE-NNW, aux eaux de ruissellement, vers l'oued collecteur Tensift. A sa surface, la plaine est sillonnée de lits torrentiels desséchés, ce qui limite la flore et la faune aquatique aux seguias de dérivation et aux réservoirs artificiels.

II. — Remarquablement adaptés au sol, les Berbères, fondateurs de Marrakech, ont créé les ouvrages hydrauliques qui alimentent encore aujourd'hui l'ancienne capitale du Moghreb. Le principe des retharas a une réelle valeur qualitative et quantitative ; mais la construction archaïque de ces monuments souterrains, d'un entretien difficile et onéreux, doit être modifiée suivant les procédés de technique moderne. Les puits et les seguias doivent être réservés pour l'irrigation.

III. — Pour le choix d'une eau d'alimentation, le captage du réseau souterrain paraît utilement indiqué dans la plaine au sud de Marrakech. C'est le problème que résolvent actuellement les Travaux municipaux en recoupant le cône de déjection du thalweg Reraïa dès sa formation en plaine alluviale.

IV. — La composition chimique des eaux du Haut-Atlas occidental et du Haouz se ressent de la nature des terrains parcourus. Par un véritable processus de lixiviation joint à l'activité des éléments atmosphériques dissous, le mécanisme de la minéralisation est étroitement lié à la perméabilité hydrologique et à la corrosion des roches.

V. — Sur les sommets schisto-cristallins du Haut-Atlas, les eaux ont une faible composition chimique. Légères et aérées, fraîches et agréables au goût, elles présentent tous les caractères de potabilité.

VI. — Au niveau des contreforts crétacés et des massifs permo-triasiques du versant septentrional, les eaux accusent rapidement une forte teneur en ions *Ca*, *Mg*, *Cl*, *So*³. Les dosages effectués sur l'oued Reraïa, en amont et en aval des Salines d'Agadir el Mel, montrent l'influence prépondérante des gisements salifères sur la composition des eaux superficielles et profondes. Le chlore contribue à leur faire perdre les qualités organoleptiques.

VII. — Grâce à une dilution progressive avec de nouveaux apports, les eaux du Haouz, au sud de Marrakech, voient baisser le taux des sels atlasiques, qui

se maintient dans des limites acceptables pour la consommation. Le résidu total atteint rarement 600. Le chlore varie entre 100 et 200, conséquence de la complexité et de la variabilité du réseau hydrographique. Le degré hydrotimétrique total se maintient entre 14 et 24. L'eau des oueds est moins minéralisée que celle des nappes souterraines, mais par contre très chargée en particules terreuses et débris divers.

VIII. — Au nord de Marrakech, l'influence des sédiments hercyniens que baignent les eaux profondes du Haouz se traduit par un accroissement rapide du taux des ions, au point que les limites de potabilité sont souvent dépassées. D'après nos analyses, le résidu total dépasse souvent un gramme, le degré hydrotimétrique total varie entre 34 et 75. Le taux élevé du chlore (149 à 894), de l'anhydride sulfurique (43 à 180), de la magnésie (30 à 168), communique aux eaux du Gueliz et à celles de Chichaoua une saveur désagréable souvent accompagnée d'intolérance. Ces eaux cuisent mal les légumes, se prêtent médiocrement au savonnage, à la teinture et à l'alimentation des chaudières.

IX. — L'absence de gaz carbonique libre abondant et d'éléments particuliers (arsenic) prouve l'inexistence d'eaux minérales proprement dites dans le réseau hydrographique considéré.

X. — L'examen bactériologique révèle la contamination des eaux superficielles et des points de la nappe aquifère exploités à Marrakech. La présence de microbes de la putréfaction et la forte teneur en

colibacilles doivent faire considérer comme dangereuses les eaux actuelles d'alimentation urbaine. Par contre, l'eau des captages municipaux, exempte de germes contaminants, a été reconnue pure dès les premières analyses, et semble démontrer la protection naturelle du réseau supérieur du Haouz.

XI. — Les endémies d'origine hydrique signalées dans les statistiques hospitalières à Marrakech sont, par ordre de fréquence : les affections gastro-intestinales non spécifiques, les dysenteries amibienne et bacillaire, la typhoïde, la paratyphoïde A, la Bilharziose vésicale. Les premiers sont sous l'étroite influence du rythme des pluies, c'est-à-dire de la souillure du réseau phréatique par les apports météoriques.

XII. — Les eaux du Haouz sont consommables après épuration physique ou chimique. La javellisation est un procédé de grande envergure pour stériliser les eaux de la ville, au cas opportun. Le traitement par les poudres permanganiques et hyposulfitées est applicable pour les faibles agglomérations. D'une manipulation facile, il assure la clarification absolue et l'épuration parfaite de l'eau destinée à la boisson.

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE
BARRAL

Vu :
LE DOYEN,
JEAN LÉPINE.

Vu et permis d'imprimer :
Lyon, le 9 Mai 1925
LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
CAVALIER.

BIBLIOGRAPHIE

1. L. GENTIL. — Carte géologique provisoire du Maroc, 1/1.500.000°, 1920, *Larose*.
2. L. GENTIL. — Explorations au Maroc. Dans le bled Siba, 1906, *Masson*.
3. L. GENTIL. — Une mission dans le Haut-Atlas marocain. *Afrique française*, 1923, n° 9, p. 446.
4. L. GENTIL. — A travers l'anti-Atlas et le Dj-Bani. *Afrique française*, 1924, n° 3, p. 196.
5. E. PERROT et L. GENTIL. — Sur les productions végétales du Maroc. La constitution du sol marocain et les influences climatiques. 1921, *Larose*.
6. Carte de reconnaissance du Maroc, 1/200.000°, Rabat.
7. A. DE LAPPARENT. — Traité de géologie, 1885, Paris.
8. A. BERNARD. — Le régime des pluies au Maroc. *Larose*.
9. — RUSSO. — La Terre marocaine, 1921, Oujda.
10. P. PALLORY. — Faune molocologique du Grand-Atlas. *Journal de Conchiologie*, 1922, p. 196 à 215.
11. IBN KHALDOUN. — Histoire des Berbères, trad. de Slave, 1852, t. II, p. 158.
12. ROUDH EL KHARTAS. — Annales de la Ville de Fez, trad. Beaunier, 1868.
13. ABD EL OUAHID EL MARRAKCHI. — Histoire des Almohades, trad. Fagnan, 1893, Alger.
14. GUEYTAT. — Les adductions d'eau de la Ville de Marrakech. *Arch. Méd. Pharm. Mil.*, t. LXIII, n° 5, 1914, p. 481.
15. L. GENTIL et NACIVET. — Etude hydrologique de la plaine de Marrakech, 1916. *Arch. Serv. Mun.*

16. TROUSSU. — L'alimentation en eau potable de la Ville indigène de Marrakech, 1918. *Arch. Serv. Mun.*
17. MONAT. — Constitution des eaux souterraines de la plaine du Haouz, 1920. *Arch. Serv. Mun.*
18. SAVORNIN. — Observations sur l'hydrologie du Haouz. 1921, *Arch. Serv. Mun.*
19. CHAMBELLAND. — Etude des eaux d'alimentation et d'irrigation de la plaine de Marrakech. 1922, *Arch. Méd. et Pharm. Milit.*, t. LXXVII, n° 3, p. 329.
20. C. W. STILES et H. R. CROHURST. — Movement of B : coli in ground and pollution of wells. *Revue d'Hygiène*, 1924, t. LXVI, n° 3, p. 292.
21. J. KLIEGER. — Recherches sur la pollution du sol et rapports entre les divers types de cabinets d'aisance et la propagation des infections intestinales. *Office intern. d'Hyg. publ.*, 1923, p. 1149.
22. E.-A. MARTEL. — La contamination géologique des eaux souterraines. *Annales d'Hyg. publ. indust. soc.*, 1925, n° 1, p. 1.
23. Le X^e Congrès d'Hygiène. Paris, *Revue d'Hygiène*, t. XLV, n° 12, 1923.
24. Instructions relatives aux eaux d'alimentation, rédigées par une Commission spéciale et approuvées le 2 juin 1924 par le Conseil Supérieur d'Hygiène. *Ann. d'Hyg. publ. indust. soc.*, 1924, n° 10, p. 618.
25. A. GUILLERD. — Périmètre de protection des eaux potables au point de vue hydrogéologique. *Ann. d'Hyg. publ. indust. soc.*, 1924, n° 8, p. 492.
26. *Formulaire pharmaceutique des Hôpitaux militaires*, 1918, t. II, p. 220 et 443.
27. DENIGÈS. — Détermination quantitative des plus faibles quantités de phosphates dans les produits biologiques par la méthode céruleo-molybdique. *C. R. de la Soc. de Biologie*, 1921, t. LXXXIV, p. 825.
28. J. CRIBIER. — Sur la recherche de l'arsenic disséminé dans les médicaments chimiques. *Thèse doct. pharm.*, 1921, Paris.

29. M. LÉONARDON. — Dosage de l'arsenic dans les eaux minérales. *Thèse doct. pharm.*, 1924, Paris.
30. A. ROCHAIX. — Recherche rapide de la contamination bactériologique des eaux de boisson. *Rev. d'Hyg.*, 1917, t. XXXIX, n^{os} 7-8, p. 472.
31. A. ROCHAIX. — L'importance et la conduite de l'expertise bactériologique pour la surveillance des eaux d'alimentation des villes. *Bull. Sc. Pharm.*, 1924, n^{os} 8-9, p. 471.
32. F. DIENERT. — Sur la présence de l'azote nitreux dans les eaux de source. *Revue d'Hygiène*, 1923, n^o 25, p. 301.
33. GUILLERD. — Notions d'hydrologie appliquée à l'hygiène. 1923, Paris.
34. PRAT. — Le nomadisme et la propagation des maladies contagieuses au Maroc. *Arch. Méd. Pharm. Mil.*, t. LXXVII, n^o 3, 1922, p. 287.
35. *Publications de la Faculté d'Alger*, t. XLIV, 1911.
36. R. MILLET. — Les Almohades. 1923, Paris.
37. DE LA RONCIÈRE. — De Paris à Tombouctou au temps de Louis XI. *Revue des Deux Mondes*, fév. 1923.
38. Médecin-inspecteur OBERLÉ et RENAUD. — La pénétration pacifique par le médecin au Maroc depuis 1908. *Arch. Méd. et Pharm. Mil.*, t. LXXVII, n^o 3, 1922, p. 229.
39. Docteur FERRIOL. — Rapport sur le fonctionnement du Bureau d'hygiène de Marrakech, année 1923. *Archives*.
40. PARAF. — Contribution à l'étiologie et à la prophylaxie de la dysenterie bacillaire. *Revue d'Hygiène*, 1923, p. 539.
41. RUZICKA. — Expériences relatives à l'épidémiologie des infections entériques. *Journal tchéco-slovaque d'hygiène*, 1921, p. 12.
42. JAUSION et DEKESTER. — Sur la transmission comparée des kystes d'entamoeba dysenteriae et de Giardia intestinalis par les mouches. *Arch. Inst. Pasteur, Afrique du Nord*, 1923, p. 153.

43. DEKESTER et MELNOTTE. — Fréquence dans les selles diarrhéiques au Maroc des Trichomonas et autres Protozoaires. *Bull. Soc. Path. Exot.*, 1924, p. 301.
 44. MELNOTTE. — Un cas de dysenterie balantidienne à Marrakech. *Arch. Inst. Pasteur*, Afrique du Nord, 1922, p. 379.
 45. — BRUMPT. — La Bilharziose au Maroc. Etude épidémiologique comparée du foyer tunisien de Gafsa et du foyer marocain de Marrakech. *Bull. Soc. Path. Exot.*, 1922, p. 632.
 46. Docteur FERRIOL. — Lutte contre le paludisme. Extrait du procès-verbal de la séance du 28 juin 1924 de la Commission d'hygiène et de salubrité urbaine de Marrakech.
 47. VIALATTE. — Contribution à la recherche de l'aire de dispersion de *Stegomyia fasciata*. Son existence à Marrakech. *Arch. Inst. Pasteur*, Algérie, 1923, p. 688.
 48. F. DIENERT. — Sur la javellisation des eaux. *Revue d'Hygiène*, 1924, p. 245.
 49. *Formulaire pharmaceutique des Hôpitaux militaires*, t. I, 1918, p. 261.
-

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	9
Chapitre premier. — Esquisse géophysique. . .	13
<i>Géogénèse. — Météorologie. — Hydrogéomorphologie. — Minéralisation des eaux atlasiques. — Aperçu phyto- zoologique.</i>	
Chapitre II. — Hydraulique indigène.	37
<i>Historique. — Les eaux superficielles. — Les eaux pro- fondes. — Le réseau urbain.</i>	
Chapitre III. — Hydraulique moderne	51
<i>Le choix d'une eau potable. — Les captages municipaux.</i>	
Chapitre IV. — Analyse des eaux.	57
<i>Prélèvement des échantillons. — Méthodes. — Résultats. — Interprétation des résultats.</i>	
Chapitre V. — Aperçu épidémiologique.	81
<i>Étiologie. — Prophylaxie. — Epuration chimique des eaux alimentaires.</i>	
Conclusions	91
Bibliographie.	95
